FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE CLERMONT

Année 1969

N° d'ordre : 113
Série : E

THESE

présentée
pour obtenir le grade de
DOCTEUR ES-SCIENCES NATURELLES

par

Andriantefison RAZAFINIPARANY

LES CHARNOCKITES DU SOCLE PRECAMBRIEN DE MADAGASCAR

Soutenue publiquement le 31 octobre 1969
devant la Commission d'examen

Président : M. M. ROQUES, Professeur

Examinateurs : MM. H. BESAIRIE, Membre correspondant de l'Institut, invité
P. LAPADU-HARGUES, Professeur
J. M. PETERLONGO, Professeur
J. MAISONNEUVE, Professeur

Texte publié dans la Série Documentation du Service Géologique de Madagascar, n°179, Tananarive, 1969.

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE CLERMONT

Année 1969

N° d'ordre : 113
Série : E

T H E S E

présentée
pour obtenir le grade de
DOCTEUR ES-SCIENCES NATURELLES

par

Andriantefison RAZAFINIPARANY

LES CHARNOCKITES DU SOCLE PRECAMBRIEN DE MADAGASCAR

Soutenue publiquement le 31 octobre 1969
devant la Commission d'examen

Président : M. M. ROQUES, Professeur

Examinateurs : MM. H. BESAIRIE, Membre correspondant de l'Institut, invité
P. LAPADU-HARGUES, Professeur
J. M. PETERLONGO, Professeur
J. MAISONNEUVE, Professeur

Texte publié dans la Série Documentation du Service Géologique de Madagascar, n°179, Tananarive, 1969.

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

UNIVERSITE DE CLERMONT

F A C U L T E D E S S C I E N C E S

DOYEN

M. SAUREL Jean

ASSESSEURS

MM. KOHLMULLER Robert
RAOULT Gaston

PROFESSEURS

MM.	RAMBAUD René	Chimie
	BLANC Eugène	Mathématiques Pures
	ROQUES Maurice	Géologie
	LAPADU-HARGUES Pierre	Minéralogie
	LUTZ Hubert	Biologie Animale
	RAOULT Gaston	Physique
	CHAMPAGNAT Paul	Physiologie Végétale
	DUPLESSIS-KERGOMARD Alain	Chimie
	AVAN Jean-Louis	Physique Expérimentale
Mme	HENNEQUIN Françoise	Mathématiques Pures
Mlle	BERTHET Ginette	Physique
MM.	LOISEAU Jean	Botanique
	COMBE René	Physique
	DE PUYTORAC Pierre	Zoologie
Mme	AVAN Madeleine	Physique
Mlle	DONDON Marie-Louise	Chimie Physique

MM.	DELOST Paul	Physiologie Animale
	SAUREL Jean	Physique
	VIALLARD André	Chimie
	KOHLMULLER Robert	Chimie minérale
	GUILLAUME Marcel	Algèbre
	COMBE Jean	Physique
	HENNEQUIN Paul	Mathématiques Appliquées
	L'HERITIER Philippe	Génétique
	VESSIERE Roger	Chimie Organique

PROFESSEUR ASSOCIE

M.	ROCOS Pantelis	Mathématiques

PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM.	PETERLONGO Jean-Marc	Géologie
	BAILLAUD Lucien	Botanique
	BATHIER Marcel	Physique
Mlle	DUCHER Suzanne	Chimie
MM.	FALGAS Maurice	Mathématiques Pures
	ROCHE Jean	Physique (I.U.T.)
	MARTINET Pierre	Chimie
	MAISONNEUVE Jacques	Géologie
	CAPESTAN Michel	Chimie
	LENOIR Marcel	Mathématiques Pures
	THOMAS Jean	Physique
	BERNARD Maurice	Physique

MAITRES DE CONFERENCES

MM.	ISABELLE Didier	Physique
	CAUBERE Paul	Chimie
	SOULAGE René	Géophysique générale

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548607_0001

MM.	DUFAURE Jean-Pierre	Zoologie
	BADRIKIAN Albert	Mathématiques Appliquées
	COURDUROUX Jean-Claude	Botanique
	ARIBAUD François	Mathématiques Pures
	GRAIN Jean	Zoologie
Mme	BESSERRE Anne-Marie	Mathématiques Pures
MM.	JEAN Claude	Physiologie Animale
	MIGNOT Jean-Pierre	Zoologie
	VELLEY G.	Psycho-physiologie
	COUSSEINS Jean-Claude	Chimie
	LEMAIRE Jacques	Chimie
	LEVY	Génie électrique (I.U.T.)
	PRORIOL	Génie électrique (I.U.T.)

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

MM.	CHADEYRAS Marcel	Mathématiques Pures
	BOILLAT Guy	Mathématiques Pures
	LE THANH PHONG	Mathématiques Pures
	ROCHE Guy	Génie électrique (I.U.T.)
	SCHMETTERER Léopold	Mathématiques Appliquées

ATTACHEE PRINCIPALE

Mme CHOPART Marie-Louise

SOMMAIRE

Page

AVANT-PROPOS 1

INTRODUCTION GENERALE 7
A. Rappel de quelques définitions 7
B. Caractères généraux de la série charnockitique ... 8
C. Définitions adoptées dans cet ouvrage 10
D. Présentation des travaux effectués 10

MORPHOLOGIE DES MASSIFS CHARNOCKITIQUES 14
I- Introduction..... 14
II- Facteurs influant sur la morphologie des roches cristallines 14
III- Caractères des massifs charnockitiques étudiés ... 16
IV- Morphologie observée 19

1ère partie

PETROLOGIE 25
Résumé 25
Introduction 28
Faciès granulite et migmatites 28
A.I- Le subfaciès hornblende-granulite 28
II- Le subfaciès pyroxène-granulite 29
B. Migmatites et granitisation 30

Chapitre I
Le Massif de Soavinandriana-Betafo 34
A. Localisation 34
B. Historique 34
C. Gisement 36
D. Pétrographie 37
I- Les enveloppes 37
II- Les charnockites 40
III- Conclusion 45
E. Caractères chimiques 46
I- Remarques générales 47
II- Interprétation 48
F. Faciès de métamorphisme 49
G. Conclusion sur les charnockites de Soavinandriana-Betafo 58
H. Age de la charnockitisation 62

Page

Chapitre II
Le Massif de Manakambahiny-Est 65
A. Localisation..... 65
B. Historique..... 65
C. Gisement 68
D. Pétrographie..... 69
I- Les enveloppes..... 69
II- Les charnockites..... 73
III- Les roches basiques associées aux charnockites..... 76
IV- Relation des charnockites avec les roches basiques associées..... 77
V- Conclusion..... 79
E. Age du Massif..... 79
F. Caractères chimiques..... 80
I- Remarques générales..... 80
II- Interprétation..... 83
G. Faciès de métamorphisme 92
H. Conclusion sur les charnockites de Manakambahiny-Est 97

Chapitre III
Les charnockites de la région de Tananarive..... 99
A. Introduction-Localisation et gisement étudié 99
B. Historique 101
C. Pétrographie 104
I- Les enveloppes..... 104
II- Les charnockites 106
III- Conclusion 109
D. Caractères chimiques 110
I- Remarques générales..... 111
II- Interprétation..... 113
E. Faciès de métamorphisme..... 122
F. Conclusion sur les charnockites de la région de Tananarive..... 125

Chapitre IV
Le Massif des Marojejy..... 127
A. Localisation 127
B. Historique..... 127
C. Gisement 131
D. Pétrographie..... 133
I- Les leptynites 133
II- Les quartzites..... 133
III- Les gneiss..... 133
IV- Les pyroxénites..... 134
V- Les charnockites..... 136
VI- Relation charnockite-pyroxénite..... 139

Page

VII- Relation charnockite-gneiss à sillimanite et cordiérite..... 140
VIII- Les granites..... 142
IX- Conclusion..... 142
E. Caractères chimiques..... 145
I- Remarques générales..... 145
II- Interprétation..... 145
F. Faciès de métamorphisme..... 153
G. Conclusion sur les charnockites de Marojejy..... 159

Chapitre V
Les charnockites de la région de Ranomena..... 162
A. Localisation..... 162
B. Historique..... 162
C. Gisement..... 165
1- Les formations gneissiques à pyroxène 166
2- Les formations gneissiques et leptynitiques..... 166
3- La zone granitique et migmatitique... 167
4- Le complexe de Ranomena..... 167
5- Les syénites stratoïdes..... 168
6- Relation entre le complexe de Ranomena et le groupe de Fort-Dauphin..... 169
D. Pétrographie..... 171
I- Les leptynites..... 171
II- Les gneiss à sillimanite et grenat... 171
III- Les gneiss à pyroxène et wernérite... 171
IV- Les gneiss à pyroxène et sphène..... 171
V- Les gneiss à pyroxène et amphibole... 172
VI- Les gneiss à grenat..... 173
VII- Les quartzites..... 173
VIII- Les pyroxénites feldspathiques..... 174
IX- Les charnockites..... 174
X- Les granites..... 180
XI- Les granites à pyroxène et orthite... 180
XII- Les syénites stratoïdes..... 180
XIII- Conclusion..... 181
E. Caractères chimiques..... 183
I- Remarques générales..... 183
II- Interprétation..... 184
F. Faciès de métamorphisme..... 189
G. Données essentielles que l'on peut tirer de l'étude du faciès de métamorphisme..... 194
H. Conclusion sur les charnockites de Ranomena..... 199

Chapitre VI
Les charnockites du système androyen de l'extrême Sud de Madagascar..... 202

Page

A. Introduction..... 202
B. Caractères pétrographiques du système Androyen..... 202
C. Les charnockites dans le système Androyen 203
I- Les charnockites des chaînes anosyennes..... 204
II- Les charnockites granulitiques..... 209
D. Conclusion..... 220

2e partie

CARACTERES RADIOCRISTALLOGRAPHIQUES DES FELDSPATHS POTASSIQUES DES CINQ MASSIFS CHARNOCKITIQUES ETUDIES

Résumé..... 221
A. Caractères optiques des feldspaths potassiques.... 223
I- Dans les charnockites..... 223
II- Dans les enveloppes..... 224
B. Symétrie des feldspaths potassiques..... 225
C. Interprétation..... 228
I- Soavinandriana-Betafo..... 228
II- Manakambahiny-Est..... 230
III- Tananarive..... 232
IV- Marojejy..... 234
V- Ranomena..... 236
D. Conclusion 238

3e partie

LES ELEMENTS EN TRACE DANS LES CHARNOCKITES

Résumé..... 241
Etude des éléments en trace dans les charnockites.... 243
I- Méthode analytique..... 243
II- Remarques générales..... 243
III- Précision des résultats..... 244
IV- Comparaison avec les résultats d'autres analyses spectrographiques de charnockite..... 244
V- Interprétation 257

4e partie

AGES DES CHARNOCKITES

Résumé..... 261
I- Introduction..... 262
II- Historique..... 262
III- Méthode utilisée..... 263
IV- Résultats obtenus..... 264

Page

CONCLUSION GENERALE
I- Définition : charnockite et série charnockitique.. 276
II- Gisements. 277
III- Caractères géochimiques..... 278
IV- Origine..... 279

BIBLIOGRAPHIE 281

ILLUSTRATIONS

Page

N° 1 - Situations des massifs charnockitiques étudiées... 13
2 - Charnockites Soavinandriana-Betafo - Morphologie.. 18
3 - Les charnockites de la région de Ranomena - Morphologie..... 22
4 - Charnockites Soavinandriana-Betafo..... 33
5 - Massif charnockitique de Soavinandriana-Betafo - Tableau des analyses chimiques..... 50
6 - Massif charnockitique de Soavinandriana-Betafo - Provenances des échantillons analysés..... 51
7 - Diagrammes des paramètres de NIGGLI selon les valeurs croissantes du paramètre alk 52
8 - Massif charnockitique de Soavinandriana-Betafo - Tableau des pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA..... 53
9 - Variations des pourcentages en cations suivant les valeurs de K+ (calculs des % selon la méthode ESKOLA)..... 54
10 - Charnockites de Soavinandriana-Betafo - Diagramme K_2O-Na_2O-CaO, montrant la granitisation à partir des gabbros par apport d'alcalins..... 55
11 - Charnockites de Soavinandriana-Betafo - Diagramme K_2O-Na_2O-CaO..... 56
12 - Charnockites de Soavinandriana-Betafo - Diagrammes ACF et A'FK - Faciès granulite, subfaciès hornblende granulite..... 59
13 - Massif charnockitique de Soavinandriana-Betafo - Valeurs des paramètres ACF et A'FK 60
14 - Charnockites Manakambahiny-Est..... 64

Page

N°15 - Massif charnockitique de Manakambahiny-Est - Tableau des analyses chimiques..... 86
16 - Massif charnockitique de Manakambahiny-Est - Provenance des échantillons analysés..... 87
17 - Massif charnockitique de Manakambahiny-Est - Tableau des pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA..... 88
18 - Charnockites de Manakambahiny-Est - Diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs de $K^+ + Na^+$ (% cations calculés selon la méthode ESKOLA)..... 89
19 - Charnockites de Manakambahiny-Est - Diagramme K_2O-Na_2O-CaO, montrant la granitisation à partir des gabbros et amphibolo-pyroxénites..... 90
20 - Charnockites de Manakambahiny-Est - Diagramme K_2O-Na_2O-CaO..... 91
21 - Migmatites et leptynites de Vohimenakely - Diagrammes ACF et A'FK - Faciès amphibolite, subfaciès sillimanite-almandin-orthose (Type BARROW)... 93
22 - Gabbros et amphibolo-pyroxénites de l'Alaotra - Diagramme ACF - Faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite - Valeurs des paramètres ACF. 94
23 - Charnockites de Manakambahiny-Est - Diagramme ACF - Faciès granulite, subfaciès hornblende granulite 95
24 - Massif charnockitique de Manakambahiny-Est - Valeurs des paramètres ACF..... 96
25 - Les charnockites de Tananarive..... 98
26 - Région de Tananarive - Analyses chimiques..... 116
27 - Massif charnockitique d'Ilafy (Tananarive) - Analyses effectuées au quantomètre..... 117
28 - Charnockites de la région de Tananarive - Tableau des pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA..... 118
29 - Charnockites de la région de Tananarive - Tableau des pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA..... 119
30 - Charnockites de la région de Tananarive - Diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs croissantes de K x 10 (% cations calculés selon la méthode ESKOLA)..... 120
31 - Charnockites de la région de Tananarive - Diagramme des variations des pourcentages en cations selon les valeurs décroissantes de Ca (% cations calculés selon la méthode ESKOLA)..... 121
32 - Granites et migmatites région Tananarive - Diagramme A'FK - Faciès cordiérite-amphibolite de type Abukuma - Subfaciès sillimanite-cordiérite-muscovite-almandin (A.2.2.)..... 123

Page

N° 33 - Charnockites région Tananarive - Diagramme A'FK Faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite.. 124
34 - Les charnockites de Marojejy..... 126
35 - Massif charnockitique de Marojejy - Analyses chimiques 147
36 - Massif charnockitique de Marojejy - Provenance des échantillons analysés..... 148
37 - Massif charnockitique de Marojejy - Tableau des pourcentages en cations calculés suivant la méthode ESKOLA 149
38 - Charnockites Marojejy - Diagramme des variations des pourcentages en cations selon les valeurs décroissantes de Ca (% cations calculés selon la méthode ESKOLA)..... 150
39 - Charnockites de Marojejy (Sambava) - Diagramme K_2O-Na_2O-CaO, montrant la granitisation à partir de roches gabbroïdiques (noritiques)..... 151
40 - Charnockites de Marojejy (Sambava) - Diagramme K_2O-Na_2O-CaO 152
41 - Charnockites massif des Marojejy - Diagramme ACF-Faciès cordiérite-amphibolite de type Abukuma modifié ; faciès intermédiaire entre subfaciès sillimanite-cordiérite-orthose (A.2.3) et subfaciès hornblende-granulite..... 156
42 - Charnockites Marojejy (Sambava) - Valeurs des paramètres ACF et A'FK 157
43 - Composition chimique de différentes roches magmatiques et sédimentaires portée sur un diagramme ACF 158
44 - Les charnockites de la région de Ranomena..... 161
45 - Amparihy-Est - Manambondro : Esquisse géologique.. 170
46 - Complexe charnockitique de Ranomena - Analyses chimiques 185
47 - Complexe charnockitique de Ranomena - Provenance des échantillons analysés 186
48 - Complexe charnockitique de Ranomena - Tableau des pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA 187
49 - Charnockites Ranomena - Diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs décroissantes de Ca (% cations calculés selon la méthode ESKOLA) 188
50 - Complexe charnockitique de Ranomena - Diagramme ACF - Faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite..... 192
51 - Complexe charnockitique de Ranomena - Valeurs des paramètres ACF..... 193

Page

N° 52 - Complexe charnockitique de Ranomena - Diagramme K_2O-Na_2O-CaO, montrant la composition migmatitique des charnockites de Ranomena..... 197
53 - Complexe charnockitique de Ranomena - Diagramme K_2O-Na_2O-CaO 198
54 - Carte géologique de la région de Mafilefy..... 210
55 - Charnockites de Mafilefy - Diagrammes ACF et A'FK Faciès granulite, subfaciès pyroxène-granulite Valeurs des paramètres ACF et A'FK 217
56 - Gisement de mica de Mafilefy - Tableau des analyses chimiques 218
57 - Tableau des résultats de l'étude aux rayons X des feldspaths potassiques des charnockites de Madagascar et de leurs enveloppes..... 227
58 - Charnockites Soavinandriana-Betafo - Répartition échantillons étudiés pour feldspath potassique.... 229
59 - Charnockites Manakambahiny-Est - Répartition échantillons étudiés pour feldspath potassique.... 231
60 - Les charnockites de Tananarive - Répartition échantillons étudiés pour feldspath potassique.... 233
61 - Les charnockites de Marojejy - Répartition échantillons étudiés pour feldspath potassique..... 235
62 - Les charnockites de la région de Ranomena - Répartition échantillons étudiés pour feldspath potassique..... 237
63 - Types de diffractogrammes (Kα Cu) de feldspath potassique rencontrés dans les charnockites étudiées 239
64 - Types de diffractogrammes (Kα Cu) de feldspath potassique rencontrés dans les roches migmatitiques de faciès amphibolite enveloppant les massifs charnockitiques..... 240
65 - Charnockites Soavinandriana-Betafo - Répartition échantillons analysés pour oligo-éléments..... 245
66 - Charnockites Manakambahiny-Est - Répartition échantillons analysés pour oligo-éléments..... 246
67 - Les charnockites de Tananarive - Répartition échantillons analysés pour oligo-éléments..... 247
68 - Les charnockites de Marojejy - Répartition échantillons analysés pour oligo-éléments..... 248
69 - Les charnockites de la région de Ranomena - Répartition échantillons analysés pour oligo-éléments..... 249
70 - Tableaux des valeurs en ppm des éléments en trace données par les analyses spectrographiques I.- Soavinandriana-Betafo..... 250
71 - Tableau des valeurs en ppm des éléments en trace données par les analyses spectrographiques II.- Manakambahiny-Est..... 251

Page

N° 72 - Tableau des valeurs en ppm des éléments en trace données par les analyses spectrographiques III.- Tananarive..... 252
73 - Tableau des valeurs en ppm des éléments en trace données par les analyses spectrographiques IV.- Marojejy..... 253
74 - Tableaux des valeurs en ppm des éléments en trace données par les analyses spectrographiques V.- Ranomena..... 254
75 - Tableau des moyennes des teneurs en éléments en trace (valeurs en ppm) 256
76 - Charnockites Soavinandriana-Betafo - Répartition échantillons analysés pour mesure d'âge..... 265
77 - Charnockites Manakambahiny-Est - Répartition échantillons analysés pour mesure d'âge 266
78 - Les charnockites de Tananarive - Répartition échantillons analysés pour mesure d'âge..... 267
79 - Les charnockites de Marojejy - Répartition échantillons analysés pour mesure d'âge..... 268
80 - Les charnockites de la région de Ranomena- Répartition échantillons analysés pour mesure d'âge 269

AVANT-PROPOS

Enfant de la brousse, né dans une région proche des zones d'exploitation de graphite, je n'avais au départ aucune "vocation" pour devenir géologue et rien ne m'incitait à le devenir. Petit-neveu d'un prospecteur, j'ai cependant passé mon enfance au milieu des "pierres" et de longs convois de charrettes à boeufs chargées de sacs de graphite, allant de la mine à la ville. Mais, comme tout le monde de mon entourage, je pensai qu'il n'y avait là qu'une activité commerciale comme toutes les autres, ou peut-être légèrement différente car "dans les pierres, il faut faire attention" : "Elles peuvent être fausses, n'être que de simples morceaux de bouteille" ; "les poudres d'or qui circulent dans les petits flacons peuvent n'être que des poudres de cuivre".

Le domaine minéral était donc très flou dans mon esprit. Et même plus tard, lorsque je suivais les cours du Lycée GALLIENI de Tananarive, ce que j'ai appris en géologie en classe de quatrième n'apportait pas grand'chose dans l'amélioration de mes connaissances.

Le hasard des circonstances m'amenait, en 1954, une fois mes études secondaires terminées, à entrer au Service Géologique comme prospecteur.

Le Service Géologique à cette époque comprenait une vingtaine de géologues : il y avait là un ensemble dynamique

de véritables pionniers de la géologie. C'était un véritable creuset où toutes les idées fondaient et d'où se dégageait sous la direction de Monsieur H.BESAIRIE, la base de la géologie malgache. C'est dans cette atmosphère effervescente que devait naître en moi le désir de devenir géologue. Après deux années passées dans cet établissement et ayant pu décrocher entre temps mon certificat d'études supérieures de mathématiques, physiques et chimie, j'ai bénéficié d'une bourse pour continuer mes études de Géologie en France, à Clermont-Ferrand.

A la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, j'eus la chance de profiter de l'enseignement remarquable dispensé par MM. les Professeurs ROQUES et LAPADU-HARGUES ainsi que par MM. les Professeurs PETERLONGO et MAISONNEUVE alors chefs de Travaux à l'époque. Qu'ils veuillent bien trouver ici le témoignage de ma sincère reconnaissance.

C'est dans l'atmosphère exceptionnelle du Laboratoire de Géologie de Clermont-Ferrand, bien connue de tous ceux qui y sont passés et y ont travaillé, que j'ai acquis le goût de la recherche. Monsieur le Professeur ROQUES, en particulier, avait dirigé mes travaux tant sur le terrain qu'au laboratoire dans le cadre de mon diplôme de géologue-pétrographe. Grâce à ses conseils, il a su m'inculquer la méthode à suivre dans la recherche géologique.

De retour à Madagascar en 1960, une fois mes études terminées, j'entrai comme Assistant au laboratoire de Géologie encore tout jeune de la Faculté des Sciences de Tananarive.

Dès mon arrivée, Monsieur P.BRENON, alors Directeur du Laboratoire de Géologie à l'époque, en accord avec Monsieur ROQUES, m'avait proposé un sujet de thèse sur les

charnockites de Madagascar. J'ai donc, en 1961, commencé mes travaux. J'ai pu bénéficier tout au début, des conseils judicieux de Monsieur le Professeur BRENON. Ses connaissances de la Géologie malgache ont orienté mes zones de travail et ont beaucoup par la suite facilité mes recherches. Mais malheureusement son départ inattendu et définitif de Madagascar pour raison familiale ne lui a pas permis de voir l'achèvement de mes travaux. Je lui adresse ici l'expression de ma profonde gratitude.

Dès 1963, à la demande de Monsieur le Ministre de l'Economie Nationale de la République Malgache, j'ai été détaché auprès du Service Géologique de la Direction des Mines et de l'Energie. Je tiens à remercier, ici, Monsieur Jean ZAFIMAHOVA, Directeur des Mines et de l'Energie, qui, malgré les tâches nombreuses à impératif économique qui incombent au Service Géologique, a bien voulu m'autoriser à continuer au sein du Service Géologique mes travaux sur les charnockites et a favorisé leur achèvement en m'accordant des missions sur le terrain ayant uniquement pour but l'étude de massifs charnockitiques. J'ai pu également assister au 22e Congrès géologique international de New-Delhi (Inde) où une section spéciale était réservée aux charnockites. J'ai suivi, après ce congrès, l'excursion réservée aux charnockites du Sud de l'Inde, dans les régions de Madras et de Mysore. J'ai pu ainsi voir la région type des charnockites, en particulier le Mont Saint Thomas près de Madras, qui est supposée avoir donné la pierre tombale de Job CHARNOCK, et observer sur place la roche qui a servi à HOLLAND pour donner le terme de "Charnockite". Mon voyage était assez rapide, mais très instructif. Les différentes régions charnockitiques que nous avons parcourues lors de cette excursion, m'ont montré la similitude des charnockites de l'Inde avec celles de Madagascar.

Au sein du Service Géologique, depuis 1963, j'eus la chance de bénéficier encore une fois des nombreux et différents conseils de Monsieur BESAIRIE, alors Chef du Service Géologique. Sa connaissance exceptionnelle de la géologie malgache, ses critiques pertinentes, ainsi que la discipline dans le travail qu'il a su inculquer à tous ses collaborateurs directs, m'ont permis de mener à bien ce travail, malgré les différentes charges administratives qui m'incombaient depuis 1965. Que Monsieur BESAIRIE veuille bien trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Je ne saurai passer sous silence les nombreuses discussions généralement fructueuses avec les géologues du Service Géologique. Je tiens à remercier particulièrement Monsieur NOIZET dont la connaissance du socle précambrien malgache ainsi que du métamorphisme du faciès granulite, amenait souvent des discussions enrichissantes. Mes remerciements vont également à MM. BORUCKI et RATSIMBAZAFY Cyril, de la nouvelle section géochimique du Service, qui ont effectué les analyses spectrographiques d'un certain nombre d'échantillons pour l'étude des éléments en trace.

Les analyses chimiques d'éléments majeurs que j'ai utilisés ont été effectuées au Laboratoire d'analyses minérales et d'essais industriels de la Direction des Mines et de l'Energie de Tananarive, par MM. R.RAZAFINDRATANDRA, B.ROUSSEL et F.RUF, auxquels j'adresse ici mes plus vifs remerciements.

Bien que travaillant à Tananarive, mes collègues et amis lointains, du Laboratoire de Géologie de Clermont-Ferrand, m'ont apporté efficacement leur aide. Je remercie particulièrement Monsieur BUSSIERE qui a bien voulu faire passer à l'ordinateur mes analyses chimiques, ce qui m'a épargné d'effectuer de nombreux et fastidieux calculs de paramètres. Je ne

saurai passer sous silence les nombreux conseils qu'il m'a prodigués sur l'utilisation de la statistique pour l'interprétation des résultats des analyses d'éléments en trace dans mes échantillons de roches. Malheureusement, l'impossibilité de multiplier le nombre des analyses ne m'a pas permis d'exploiter à fond les ressources de la statistique. Je remercie également Madame MERGOIL qui a bien voulu m'initier à l'étude des feldspaths potassiques au diffractomètre RX. Ma gratitude va aussi à Madame VACHETTE qui n'a pas ménagé ses peines pour effectuer les mesures d'âge sur les échantillons de charnockites prélevés sur les cinq massifs que j'ai étudiés.

Une des grandes difficultés que j'ai pu rencontrer au cours de mes travaux à Madagascar résidait dans l'insuffisance des moyens de documentation. Certes, Tananarive possède actuellement quelques bibliothèques scientifiques ; mais dans le domaine de la géologie, la plupart sont jeunes et des périodiques antérieurs à certaines dates manquent. D'autre part, l'éventail des périodiques que reçoivent régulièrement les différentes bibliothèques, est assez restreint. Malgré les efforts fournis par les uns et les autres, beaucoup sont encore à faire ; en particulier une meilleure coordination est souhaitable, de façon à ce que les différents organismes ne s'abonnent pas aux mêmes revues, afin de pouvoir élargir l'éventail de documentation de l'ensemble. C'est dans le cadre de ces difficultés que je tiens à remercier Monsieur HOTTIN, collègue et ami de Madagascar qui, durant les deux années de son séjour au Laboratoire de Clermont, m'a bien volontiers envoyé les documents et renseignements dont j'avais besoin pour faire progresser mes travaux.

Mes remerciements vont également à Monsieur le Professeur DELORME, de la Faculté des Sciences de Tananarive, qui a

bien voulu m'autoriser à faire passer les poudres de mes échantillons de feldspath potassique au spectromètre à RX du Laboratoire de physique qu'il dirige.

Enfin, je ne saurai terminer sans remercier ici tous les agents du Service Géologique qui ont apporté leur concours à mes travaux : aides-géologues, prospecteurs, chauffeurs qui m'ont accompagné lors de mes différentes tournées, laborantins, dessinateurs et dactylos qui ont participé à la mise en forme du mémoire. Qu'ils veuillent bien m'excuser de ne pas avoir inscrit ici aucun nom, de peur d'en oublier quelques-uns.

INTRODUCTION GENERALE

A.- RAPPEL DE QUELQUES DEFINITIONS.- 1º- Charnockite : Le terme de charnockite(1) a été défini en 1893 par T.H.HOLLAND pour désigner un type de granite à hypersthène de l'Inde. Par la suite, HOLLAND employa le terme de série charnockitique pour désigner une série pétrographique caractérisée par la présence d'un pyroxène orthorhombique fortement pléochroïque et par une structure granulitique générale. Les différents termes de la série devaient être distingués les uns des autres par les noms habituels des roches à composition minéralogique équivalente tels que norites, pyroxénites etc. Seul, selon HOLLAND, le terme de charnockite devait être réservé aux granites à hypersthène des séries charnockitiques.

2º- Malgachites : Dans son ouvrage "Minéralogie de Madagascar" (Tome II, p.239), A.LACROIX parle de la présence à Madagascar de roches anciennes "à gros grain ou à grain moyen, à cassure écailleuse ou brillante, surtout quand elles sont pauvres en minéraux ferromagnésiens ; dans ce cas, leur couleur est d'un jaune cassonade et, dans le cas contraire, noirâtre. Leur

---

(1). Charnockite : terme choisi en l'honneur de Job CHARNOCK, fondateur de Calcutta, dont la pierre tombale érigée en 1695, était faite de ce type de granite à hypersthène.

aspect rappelle un peu celui des charnockites des Indes". Toutes ces roches ont une composition minéralogique très différente (granodiorites, diorites, gabbros, quartziques ou non), mais ont toutes un "faciès extérieur si identique qu'il saute aux yeux sur le terrain". A cet aspect spécial de la roche, A.LACROIX a donné le nom de faciès malgachitique. LACROIX souligne les ressemblances entre les roches à faciès malgachitique et celles de la série charnockitique de l'Inde, mais n'identifie pas les deux, puisqu'à "Madagascar, il ne s'agit que d'un faciès spécial que ne présentent pas toutes les roches d'une composition donnée" (LACROIX 1922, tome III, p.163).

Par la suite, les géologues de Madagascar, par simple commodité, ont souvent utilisé le terme de "malgachites" pour désigner les roches à faciès malgachitique.

B.- CARACTERES GENERAUX DE LA SERIE CHARNOCKITIQUE.- Au cours des levers géologiques menés depuis LACROIX, il ne reste plus aucun doute sur l'existence à Madagascar des roches de la série charnockitique, dont le caractère principal est la présence de l'hypersthène. On a pu constater, en effet, que le faciès malgachitique n'est qu'un faciès d'altération des roches de la série charnockitique. Celles-ci ont en effet, à l'état frais, une coloration bleu-noir ou bleu-vert. Mais cette coloration ternit très vite à l'air libre pour devenir verdâtre à vert-jaunâtre. Sur le terrain, à l'affleurement, ces roches présentent une croûte décolorée de 1 à 2 centimètres, comparable à celle de toutes les autres roches. Sous cette croûte décolorée, qui donne à la roche un aspect gneissique ou granitique, apparaît le faciès malgachitique, caractérisé par la coloration jaune miel. C'est en dessous de cette

partie malgachitique, généralement fissurée, dans la zone compacte non fissurée, qu'apparaît la roche charnockitique caractérisée par sa coloration bleu-noir ou bleu-vert. Nous savons, après les travaux de J.ORLIAC, à Clermont-Ferrand (1957), que la coloration des malgachites est due à l'oxyde de fer hydraté (limonite = Fe_2O_3, $3H_2O$). Il semble, d'après l'observation microscopique des lames minces de roche à faciès malgachitique, que cet oxyde de fer constituerait la matière jaune(1), biréfringente, qui tapisse les fissures (J.GUIGUES 1952). En profondeur, la matière qui remplit les fissures est incolore et la roche n'a pas le faciès malgachitique. Dans ses travaux, J.ORLIAC conclut que la coloration du faciès malgachitique est due à la transformation en surface par oxydation en fer ferrique du fer ferreux. C'est la partie interne, débarrassée du faciès malgachitique, qui s'identifie aux roches de la série charnockitique de l'Inde. En effet, les caractères généraux sont les mêmes dans les deux cas. Ce sont :

- une coloration gris-bleu à vert sombre ;
- quartz (lorsqu'il est présent) bleu ou parfois brunâtré ;
- feldspath, de coloration bleue ou verdâtre, ou brunâtre ;
- présence d'hypersthène fortement pléochroïque (bleu-vert à rose), parfois d'un pyroxène monoclinique verdâtre, de hornblende brune ou vert-brunâtre et de biotite brune ;
- absence remarquable du sphène.

---

(1). Tout récemment, J.TOURET (Le socle précambrien de Norvège, Thèse Nancy 1969) indique que cette matière jaune, réfringente, qui tapisse les fissures des feldspaths à faciès malgachitique, peut correspondre à de la nontronite.

Macroscopiquement, c'est la coloration du quartz et des feldspaths qui caractérise les charnockites et est responsable de leur air de famille. Microscopiquement, c'est la présence presque constante de l'hypersthène dans tous les termes de la série.

C.- DEFINITIONS ADOPTEES DANS CET OUGRAGE.- Pour mes travaux, j'ai éliminé le terme de malgachite, bien que la coloration malgachitique soit le guide le plus précieux pour les études de ces roches sur le terrain. J'ai adopté le terme de "charnockite" pour désigner toutes les roches de la série charnockitique, sans réserver ce terme au seul type acide. Les différents termes de la série sont distingués, d'après la classification de LACROIX, c'est-à-dire selon leur composition minéralogique et leur composition chimique. Je parlerai donc, au cours de ce mémoire, de charnockites gabbroïque, dioritique, granodioritique, granitique et syénitique.

D.- PRESENTATION DES TRAVAUX EFFECTUES.- Depuis les travaux de HOLLAND en Inde, des charnockites ont été signalées un peu partout dans le monde et étudiées. A Madagascar, dès 1889, F.H.HATCH décrit des granulites pyroxéniques qui ressemblent de très près aux charnockites de l'Inde. En 1895, R.BARON a observé leur association avec les pyroxénites. En 1922, nous avons vu précédemment que A.LACROIX parle dans son important ouvrage "Minéralogie de Madagascar" de roches à faciès malgachitique et, tout en évitant de les identifier avec les charnockites de l'Inde, signale leur ressemblance avec ces dernières. Par la suite, les géologues de Madagascar, au cours des levers de reconnaissance au 1/200.000, et plus tard au 1/100.000, signalent un peu partout dans le socle précambrien

de l'Ile, la présence de charnockites, que la plupart dénommaient malgachites. Comme il s'agissait là de levers régionaux, très peu d'études étaient consacrées aux charnockites, à part les descriptions pétrographiques.

Du point de vue étude générale, indépendamment des levers géologiques de reconnaissance, signalons la note de P. BRENON sur "Les Charnockites de Madagascar", présentée au Congrès du Pan Indian Ocean Science (Perth) en Août 1954. Cet auteur y fait une courte synthèse des données connues jusqu' alors sur les charnockites de Madagascar et y donne des descriptions des principaux types pétrographiques et identifie les malgachites aux charnockites décrites en Inde.

En 1958, P.BRENON et L.DELBOS indiquent dans une brève note, la présence de charnockites à grenat à Madagascar, mais d'extension limitée, constituant une série comparable à celle de l'Inde (in Note de géologie malgache 1958 - Doc.140 du Service Géologique Tananarive).

En 1959, L.DELBOS rassemble et publie une quarantaine d'analyses chimiques de charnockites malgaches classées en types acide, intermédiaire et basique (Rapport annuel du Service Géologique pour 1959).

En 1961, H.MAJMUNDAR publie les résultats d'analyses d'éléments en trace dans des charnockites du Sud de Madagascar (Thèse Nancy, 1961).

Contrairement à mes prédécesseurs, j'eus la possibilité de consacrer mes recherches uniquement sur les charnockites. Nous savons que l'origine des charnockites est un des points qui préoccupent toute personne qui s'occupe de leur problème. Aussi, n'ai-je point échappé à la règle. J'ai donc utilisé les résultats de mes observations et de mes différentes analyses

à dégager les origines possibles des charnockites malgaches, leur mise en place au sein du contexte lithologique environnant, c'est-à-dire à expliquer ce que pourrait être la charnockitisation et enfin à situer cette charnockitisation dans l'histoire géologique du socle malgache.

Cinq massifs répartis au centre, au Sud et au Nord de l'île ont été sélectionnés et étudiés.

Pour chaque massif, la méthode de travail que j'ai adoptée consistait à étudier successivement :

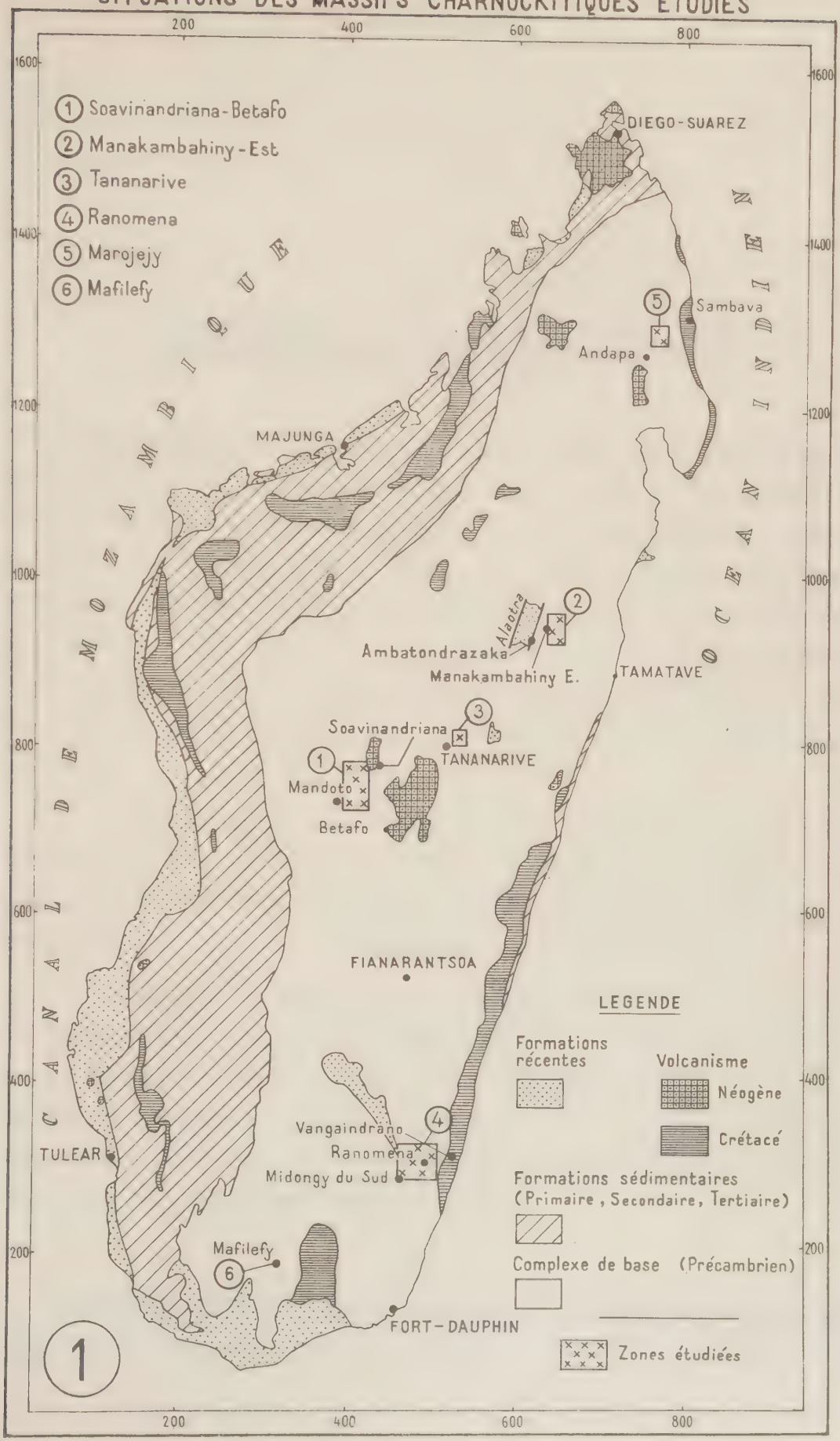
- le mode de gisement
- la pétrographie : a) enveloppes
  b) charnockites (différents types pétrographiques)
- les caractères chimiques
- le faciès de métamorphisme
- les caractères des éléments en trace
- les caractères radiocristallographiques des feldspaths potassiques
- les résultats des mesures géochronologiques par la méthode au rubidium-strontium sur roche totale.

De façon à pouvoir comparer plus facilement les cinq massifs entre eux et en définir les types principaux, les études sur les cinq massifs, relatives à chacun des trois derniers points indiqués ci-dessus, furent groupées en un seul chapitre.

o

o o

SITUATIONS DES MASSIFS CHARNOCKITIQUES ETUDIES



MORPHOLOGIE DES MASSIFS CHARNOCKITIQUES

I.- INTRODUCTION.- On pourrait se demander si à Madagascar les charnockites ont une morphologie particulière qui puisse facilement permettre leur identification sur le terrain comme pour les roches volcaniques. En Inde, les charnockites constituent généralement des collines qui tranchent sur le paysage. Elles sont constituées dans ce pays, généralement par des roches à grain moyen et plutôt fin. Leur résistance relative à l'érosion par rapport à celle des autres formations semble plus élevée.

A Madagascar, par contre, on n'observe pas ces mêmes caractères. Ici, les charnockites donnent une morphologie comparable à celle de toutes les roches cristallines, en particulier celle du granite, suivant les zones climatiques.

Bien que, du point de vue pétrographique, il n'y ait pas beaucoup de différence entre les charnockites indiennes et les charnockites malgaches, leur comportement vis-à-vis de l'érosion aréolaire semble différent. Nous verrons plus loin que cette différence peut s'expliquer par certaines particularités des charnockites malgaches.

II.- FACTEURS INFLUANT SUR LA MORPHOLOGIE DES ROCHES CRISTALLINES.- Les géomorphologues admettent que ce qui différencie

les roches vis-à-vis de l'érosion, ce sont leur porosité et la résistance de leurs cristaux à l'altération.

1º- Porosité.- L'eau qui pénètre dans une roche accélère la décomposition, soit par action physique, soit par action chimique. Une roche qui est poreuse aura donc une résistance très faible vis-à-vis de l'érosion.

2º- Résistance des cristaux à l'altération.- Certains cristaux s'altèrent plus facilement que d'autres en donnant des produits plus mous (argiles etc.) et provoquent la désagrégation de la roche. Nous savons par exemple que la biotite s'altère plus facilement que l'amphibole et que les roches riches en biotite telles que les micaschistes se rencontrent rarement à l'état frais sous le climat tropical.

D'une façon générale, sont considérées comme facteurs de forte résistance à l'érosion : rareté de la biotite - texture à grain fin - rareté des diaclases - faible porosité.

3º- Les facteurs climatiques.- Le climat avec la couverture végétale qui en résulte modifie beaucoup le relief. Sous le climat tropical, dans la zone des forêts denses, à pluie abondante et à saison sèche courte, les roches sont constamment attaquées et sont profondément altérées. Le relief est alors caractérisé par des croupes à forte pente. Sous le même climat, mais dans la zone de savane, à saison de pluie et à saison sèche bien distinctes, le mode d'altération des roches est nettement différent du précédent. Il y a élimination surtout de la silice et formation de sols latéritiques. Le relief est alors caractérisé par des plateaux et des replats.

III.- CARACTERES DES MASSIFS CHARNOCKITIQUES ETUDIES.- A la lumière de ces quelques données, ci-dessus énoncées, nous allons essayer de voir les particularités des charnockites de Madagascar.

1º- Résistance à l'érosion.- Ces charnockites sont pauvres en biotite. Leur grain est généralement moyen avec parfois tendance vers des tailles plus grosses, dépassant parfois le centimètre, en particulier dans les types granitiques porphyroïdes ainsi que dans les types syénitiques. (La comparaison de quelques échantillons ramenés de l'Inde montre que ces derniers sont à grain plus fin que ceux de Madagascar).

Les charnockites que j'ai étudiées présentent d'une façon générale une certaine orientation des minéraux constituants. Mais cette orientation s'estompe dans les types porphyroïdes et disparaît même dans les types syénitiques à grain grossier orienté dans tous les sens. A première vue, néanmoins, rien ne semble indiquer que ces roches ne soient pas de forte résistance. Cependant le relief qu'on observe semble au contraire montrer que si elles ne sont pas de faible résistance, elles ont tout au plus une résistance moyenne. Les carrières existantes font voir qu'on peut atteindre assez rapidement les roches saines sous une assez faible épaisseur de sol. P.BIROT, dans sa contribution à l'étude morphologique des "plateaux du centre de Madagascar", interprète ce caractère comme en liaison avec le faciès malgachitique. Dans les roches du faciès malgachitique en profondeur, nous l'avons vu précédemment, les fissures sont bouchées par une substance incolore et leur porosité est nulle. Malheureusement, cette substance s'altère rapidement en surface par oxydation. Et cet auteur de conclure : "c'est dans cette particularité d'être difficilement pénétrable

en profondeur et d'être facilement altérable en surface que réside le caractère morphologique essentiel des charnockites malgaches".

2º- Types climatiques rencontrés.- Les massifs étudiés sont répartis dans 2 zones climatiques différentes:

a) Les massifs de Soavinandriana-Betafo et de Tananarive, localisés sur les Hauts-Plateaux, sont soumis à un climat tropical à deux saisons bien distinctes, une saison des orages allant de décembre à avril et le reste de l'année étant couvert par la saison sèche mais qui comporte néanmoins quelques périodes intermittentes de pluies fines. Cette zone est plus ou moins déboisée, sans qu'elle soit entièrement comparable à la zone de savane. En particulier l'évolution des sols latéritiques est allée rarement jusqu'à la formation de cuirasse.

Ici, les charnockites ont le même comportement que les migmatites granitoïdes généralement de résistance moyenne qui les enveloppent.

b) Les massifs de Manakambahiny-Est, de Marojejy et de Ranomena sont situés dans une zone tropicale humide où l'on peut distinguer deux saisons humides mais différentes, séparées par deux courtes périodes sèches en mai et en octobre.

La première période humide allant de novembre à avril est une saison caractérisée par des orages violents en fin de journée, dus à la mousson,et quelquefois par des cyclones. La deuxième période va de juin à septembre. C'est une saison caractérisée par des pluies fines amenées par l'alizé du SSE, avec de brèves éclaircies et parfois des périodes courtes (5 à 6 jours) de temps ensoleillé. Ces zones sont caractérisées par

2

MORPHOLOGIE

une végétation abondante avec des forêts denses. La région de Ranomena, néanmoins, ne comporte plus que des lambeaux de forêts. C'est la zone des ravenales aux feuilles en éventail caractéristiques, des palmiers et des bambous.

Dans le cas de Manakambahiny-Est et de Marojejy, les charnockites sont en liaison avec un relief bien marqué. Mais là, elles sont associées à des roches basiques, riches en amphibole et pyroxène qui semblent mieux résister à l'érosion.

Dans le cas de Ranomena, on voit que le comportement des charnockites ne diffère pas de celui des formations granitoïdes et que, en aucun cas, elles ne donnent au relief son ossature.

IV.- MORPHOLOGIE OBSERVEE.- 1º- Soavinandriana-Betafo.- La région est constituée par un ensemble pénéplané dont l'altitude varie de 850 à 950 mètres, entaillé par les vallées de la Sakay au Nord, de la Kitsamby au Sud et de leurs affluents, et où les charnockites et migmatites granitoïdes qui les enveloppent ne montrent aucune différenciation du point de vue morphologique. Au-dessus de cette surface aplanie pointent seulement les montinsules d'Antampoketsa (1132 mètres) et de Fariandriana (1208 mètres). Ces deux pointements sont constitués par des charnockites syénitiques pauvres en ferromagnésiens et composées essentiellement de feldspath en gros cristaux. La résistance de ces types pétrographiques de charnockites vis-à-vis de l'érosion est plus élevée que celle des autres types granitiques et, en particulier, plus que les types basiques gabbroïques à grain plus fin : elle s'explique difficilement.

2º- Tananarive.- Dans cette région, les charnockites sont étroitement liées aux granites, soit qu'elles se présentent en bancs

stratoïdes, ou en enclaves résiduelles. De toute façon, ce sont les granites qui donnent à la région son relief compliqué.

La petite zone charnockitique d'Ilafy au Nord de Tananarive, composée par un type granodioritique à grain moyen, se présente dans une sorte de cuvette à altitude moyenne de 1290 mètres, bordée tout autour par des chaînes granitiques dont l'altitude varie de 1400 à 1500 mètres.

3º- Manakambahiny-Est.- Dans la région de Manakambahiny-Est (à l'Est du Lac Alaotra), on rencontre un massif d'allure elliptique dont le grand axe est orienté NW-SE. Ce massif entièrement recouvert de forêt et dont la ligne de crête va d'Andranotohoka (1580 mètres) à Andrangovalo (1525 mètres), domine les bassins de la Lovoka au Nord, de la Sahatany à l'Est, de la Nosivolo à l'Ouest et de l'Onive au Sud.

L'axe du massif est constitué par un ensemble charnockitique basique, généralement gabbroïque, associé à des amphibolo-pyroxénites. Il s'agit là d'un ensemble sans quartz ou pauvre en quartz, à plagioclase basique, sans feldspath alcalin, mais riche en pyroxène et amphibole. Pas de biotite. Les roches sont orientées, rubanées, à grain moyen.

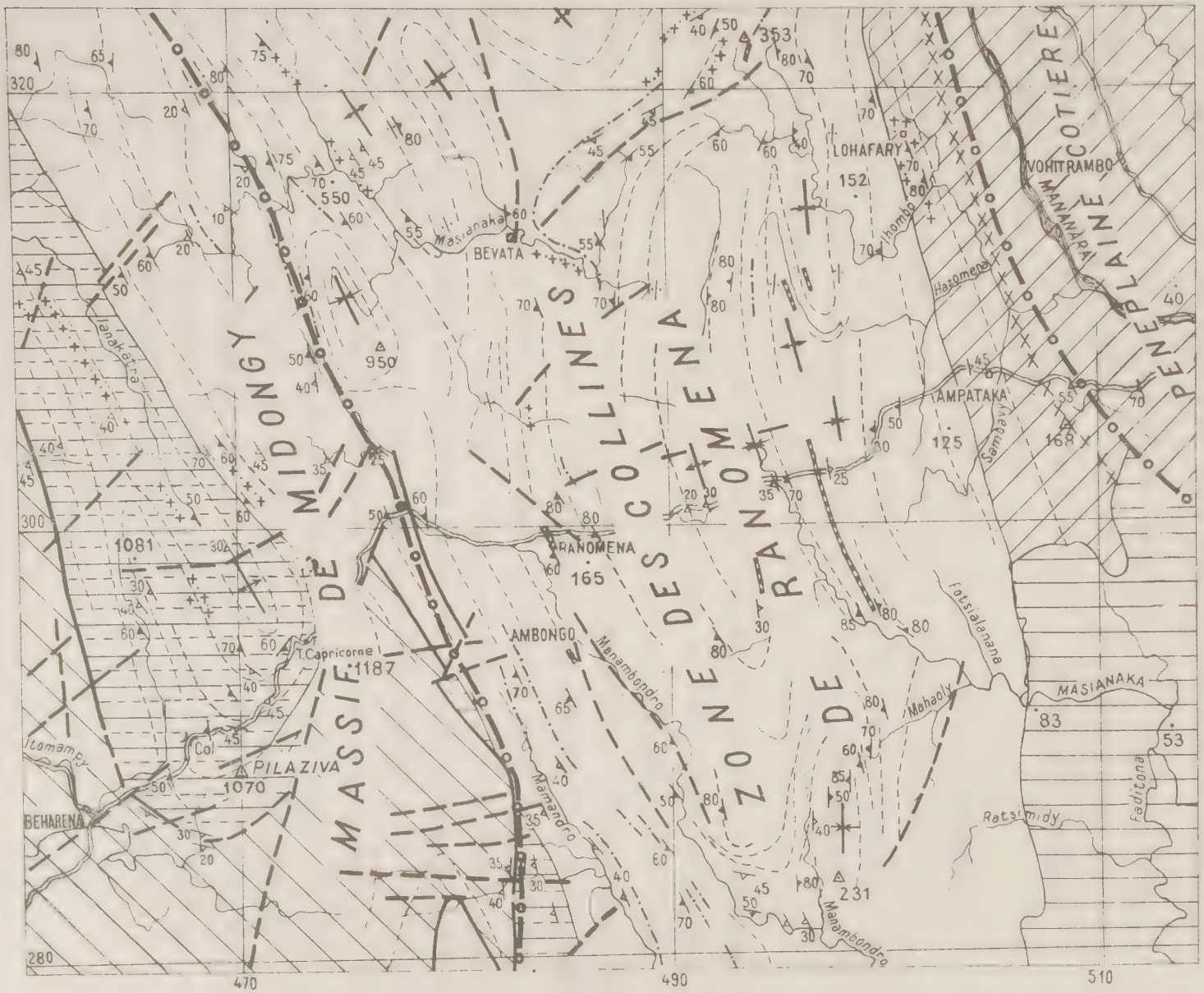
Tout autour de cet axe, il y a un ensemble indifférencié de charnockites plus acides, associées non seulement à des amphibolo-pyroxénites, mais aussi à des gneiss à pyroxène et à amphibole. Il y a donc là un ensemble plus riche en quartz que précédemment, rubané, et parfois même le rubanement devient fin et tend vers un faciès schisteux et feuilleté. De plus, avec l'apparition de la biotite dans ces roches, il paraît évident que cet ensemble présente un caractère de résistance plus faible que l'axe basique plus compact et plus pauvre en mica (minéral très altérable).

Enfin, le massif est enveloppé par un ensemble migmatitique riche en biotite, plus ou moins schisteux, associé également à des formations pyroxéno-amphiboliques, mais dont le caractère de faible résistance est évident. Ces migmatites sont profondément altérées et latéritisées.

On peut se demander ici les raisons pour lesquelles les charnockites de l'axe qui donnent à ce massif son ossature, semblent avoir une résistance beaucoup plus grande que ce que l'on a observé jusqu'à maintenant. L'on voit en effet que, ici également, les charnockites ont les mêmes caractères pétrographiques que dans les massifs étudiés précédemment. L'observation sur le terrain montre que les crêtes et en particulier le sommet d'Andrangovalo est constitué par des roches ultrabasiques amphibolo-pyroxéniques. Il y a donc lieu de penser que ce sont ces roches basiques associées qui ont une résistance beaucoup plus grande vis-à-vis de l'érosion aréolaire, qui ont, les facteurs climatiques aidant, permis à ce massif charnockitique d'avoir sa morphologie particulière. On sait, en effet, que lors de l'érosion sous le climat tropical humide, toute irrégularité tend à s'exagérer. Les pentes abruptes qui sèchent après la pluie, n'évoluent sensiblement pas, tandis que sur les pentes garnies d'un manteau de décomposition, la roche continue à se décomposer sous sa tunique, et que le matériau altéré s'exporte par ruissellement, creeping ou déflation (DERRUAU M., Précis de Géomorphologie).

4º- Ranomena.- La région de Ranomena comporte trois zones morphologiques naturelles bien distinctes correspondant plutôt à des entités structurales et lithologiques dans lesquelles l'érosion différentielle a beaucoup joué. Les charnockites se comportent ici comme des roches de résistance moyenne et ne

LES CHARNOCKITES DE LA REGION DE RANOMENA



LEGENDE

- Coulées basaltiques
- Migmatites avec bancs de charnockite
- Complexe de Ranomena: Charnockite-pyroxénite; gneiss; quartzite
- Charnockite; Pyroxénite; Gneiss à pyroxène et sphène
- Leptynite et gneiss à sillimanite et grenat; Gneiss à pyroxène et wernérite

FACIES PETROGRAPHIQUES SPECIAUX

- + Granite
- X Charnockite
- Quartzite
- Banc de graphite
- Pendage >< 45°
- Verticalité
- Synclinal
- Anticlinal
- Faille
- · 125 Altitude en m
- Limite zone morphologique

0 5 10Km

A. RAZAFINIPARANY
1969

3

MORPHOLOGIE

donnent en aucune façon aux différentes zones l'ossature de leur relief :

a) A l'Ouest se dresse le massif de Midongy couvert de forêts denses, véritable rempart délimitant le rebord oriental des Hauts-Plateaux centraux et dont la ligne de crête constitue la ligne de partage des eaux Mozambique-Océan Indien.

b) A l'Est, à partir du méridien 505 (coordonnées LABORDE) s'étend la pénéplaine côtière dont la surface plate, recouverte plus à l'Est par une coulée volcanique, descend doucement vers l'Océan Indien.

c) Au centre, la zone du complexe charnockitique de Ranomena proprement dite, constitue la transition entre le massif de Midongy et la pénéplaine côtière. Elle présente une série de collines allongées d'une façon générale NNW-SSE qui correspondent aux bancs de quartzites du complexe.

Entre les sommets du massif de Midongy, dont l'altitude varie de 1000 à 1100 mètres, et ceux des collines de Ranomena (variant de 150 à 550 mètres), la dénivellation est très importante. L'examen des pendages des formations indique qu'ils sont faibles dans le massif de Midongy (de l'ordre de 30º à 40º) et par contre plus élevés dans la région des collines de Ranomena (de l'ordre de 70º à 80º). Dans ce massif de Midongy, l'on rencontre différents types de formations pétrographiques : dans la partie Sud, nous avons des leptynites du groupe de Fort-Dauphin ; au Nord : des formations gneissiques à pyroxène ; plus au Nord : des formations du complexe de Ranomena. Il y a lieu donc de penser ici que l'érosion différentielle a joué plutôt sur les différences structurales que sur les différences lithologiques : les zones à fort pendage ont été attaquées plus facilement par l'érosion que les zones à faible pendage.

5º- Marojejy.- Le massif des Marojejy est un imposant massif recouvert par une épaisse forêt, limité au Sud par la Lokoho et son affluent Andranomadiokely, au Nord et à l'Ouest par la vallée de l'Androranga, à l'Est par la Sambava.

Il s'agit là d'un synclinal perché déversé vers le Sud et découpé dans sa partie Sud parallèlement à l'axe du synclinal, par la vallée de la Lokoho. Le rebord Sud du massif est abrupt. Il existe entre le pied Sud du massif (altitude de 88 mètres à Andranomifototra sur la Lokoho) et son sommet Sud (2133 mètres), une dénivellation de plus de 2000 mètres. Des coupes effectuées de la base au sommet sur cette paroi Sud, montrent que l'on a affaire à un ensemble complexe comparable à celui de Ranomena constitué de charnockites à composition variable (gabbroïque à granitique et syénitique) associées à des roches basiques amphibolo-pyroxéniques et gneissiques en couches conformes. Les charnockites sont à grain moyen dans les types basiques mais les grains deviennent plus grossiers vers les types granitiques et syénitiques. La texture générale est orientée mais cette orientation s'estompe dans les types porphyroïdes surtout syénitiques. Nous retrouvons donc les mêmes caractéristiques que dans les charnockites rencontrées jusqu'à présent. L'étude des zones non charnockitiques environnantes montre l'absence des formations pyroxéno-amphiboliques, mais seulement des formations gneissiques et migmatitiques à tendance schisteuse, donc plus altérables. Il y a donc lieu de penser, ici, comme dans le cas de Manakambahiny-Est, au rôle que jouent les roches basiques associées ainsi qu'aux facteurs climatiques pour expliquer cette morphologie du massif des Marojejy.

1ère partie

P E T R O L O G I E

RESUME.- Six régions de charnockite ont été étudiées. Elles sont localisées dans le Centre (Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est, Tananarive), dans le Sud-Est (Ranomena), dans le Nord-Est (Marojejy) et dans l'extrême Sud (Mafilefy).

Les études portaient sur le gisement, la pétrographie, les relations des formations charnockitiques, avec leurs enveloppes, les caractères chimiques des différents faciès pétrographiques, le faciès de métamorphisme des charnockites et de leurs enveloppes.

Il résulte de l'ensemble de ce travail que les charnockites de Madagascar peuvent être classées en deux grands groupes :

1º- Les charnockites des zones peu profondes, caractérisées par l'association minérale diopside-hédenbergite, hornblende, hypersthène, avec un peu de biotite. Leur extension peut être importante. Elles peuvent constituer de grands massifs (Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est, Marojejy) ou des complexes régionaux (Ranomena).

2º- Les charnockites des zones profondes, caractérisées par l'association minérale : hypersthène, grenat, avec très peu ou sans biotite. Leur extension est restreinte. Elles ne constituent que des bancs de puissance de l'ordre de quelques mètres, interstratifiés dans des leptynites (granulites) à sillimanite et grenat (Mafilefy).

A.- Les charnockites du 1er groupe comprennent deux sous-groupes :

a) Les charnockites métasomatiques qui dérivent du métamorphisme et de la granitisation de gabbros (anhydres) en grands massifs ou de roches gabbroïdiques noritiques (également anhydres) en sills ou en couches et qui prennent naissance dans la zone du faciès amphibolite (Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est, Marojejy).

La charnockitisation peut être contemporaine du métamorphisme (Manakambahiny-Est, Marojejy) ou postérieure au métamorphisme (Soavinandriana-Betafo).

Les intrusions gabbroïdiques, très chaudes, peuvent être synmétamorphes (Marojejy) et provoquer dans les formations paragneissiques silico-alumineuses encaissantes, un métamorphisme de contact de profondeur du faciès orthopyroxène-hornblende, aboutissant à des charnockites métasomatiques avec ou sans cordiérite.

b) Les charnockites migmatitiques qui dérivent du métamorphisme suivi d'anatexie, de roches paragneissiques calco-magnésiennes (originellement marneuses) ou orthogneissiques d'origine gabbroïdique (basaltes - andésites), et qui prennent naissance dans la zone du faciès hornblende-granulite (Ranomena).

B.- Les charnockites du deuxième groupe sont des <u>charnockites granulitiques</u> qui dérivent du métamorphisme dans la zone du faciès pyroxène-granulite (charnockites à grenat de Mafilefy) par déshydratations successives des gneiss, les déshydratations successives étant :

(1) Muscovite + Quartz = Orthose + Sillimanite + Eau
(2) Biotite + Sillimanite = Orthose + Cordiérite + Eau
(3) Biotite + Quartz = Hypersthène + Orthose + Eau.

o

o o

INTRODUCTION

FACIES GRANULITE ET MIGMATITES

A.- Le minéral le plus caractéristique des charnockites est l'hypersthène. Or ce dernier est considéré comme un des minéraux qui caractérisent le "faciès granulite"(1). Le faciès granulite constitue un des faciès de métamorphisme définis en 1939 par P. ESKOLA et admis aujourd'hui comme faisant suite au subfaciès de température la plus élevée du faciès amphibolite. En 1958, FYFE, TURNER et VERHOOGEN y introduisent 2 subfaciès : le subfaciès hornblende-granulite et le subfaciès pyroxène-granulite.

I - LE SUBFACIES HORNBLENDE-GRANULITE.- Il est caractérisé par la paragenèse à hornblende + hypersthène + plagioclase + diopside + grenat (avec très peu ou sans biotite).

---

(1) "Granulite" est un terme utilisé par les géologues anglo-saxons pour désigner des roches gneissiques quartzo-feldspathiques à grenat ou pyroxène avec très peu ou sans mica et dans lesquelles le quartz est aplati parallèlement à la schistosité. Le type essentiel est la granulite de Saxe. Ces roches sont considérées comme les produits du degré le plus élevé du métamorphisme régional.

Le passage du subfaciès le plus élevé (subfaciès sillimanite-almandin-orthose) du faciès amphibolite est marqué par la diminution de la hornblende et l'augmentation du pyroxène monoclinique, puis l'apparition de l'hypersthène.

II - LE SUBFACIES PYROXENE-GRANULITE.- Il est caractérisé par l'instabilité de la biotite. Le passage à ce stade est illustré par la réaction bien connue : biotite + quartz ⟶ grenat + orthose + hypersthène + eau.

La paragenèse observée est par conséquent à hypersthène + diopside + plagioclase + grenat (avec très peu ou sans biotite).

La hornblende a complètement disparu.

De cette paragenèse observée, on a conclu que le subfaciès pyroxène-granulite est un faciès anhydre et que les roches qui se sont formées sous ce faciès sont formées en absence d'eau.

Cependant beaucoup d'auteurs attachent actuellement de l'importance à la pression(1) de fluide par rapport à la pression des solides pour expliquer les associations minérales observées dans le faciès granulite et en particulier dans le subfaciès hornblende-granulite. En effet, il est constaté que la paragenèse de ce faciès peut se former sous les conditions de température (environ 700ºC) du faciès amphibolite si la pres-

---

(1) La température et la pression dans le faciès granulite sont généralement admises comme étant supérieures à celles du subfaciès le plus élevé du faciès amphibolite (750ºC et 8 kilobars).

sion partielle d'eau est nettement inférieure à celle des solides.

Ce phénomène est assez fréquent dans le cas où des intrusions basiques anhydres sont prises dans un métamorphisme général du faciès amphibolite et expliquent la présence de zone à faciès granulite au sein d'un ensemble métamorphique de faciès amphibolite.

Il est évident que le faciès hornblende-granulite n'est pas complètement anhydre. Dans les conditions de température et de pression régnant en cette profondeur, il suffit d'une petite quantité d'eau pour qu'il y ait anatexie et formation de migmatites. Ceci peut expliquer la présence de migmatite dans la zone du faciès hornblende-granulite. Par contre, dans le domaine du faciès pyroxène-granulite, il ne devrait plus y avoir d'eau ou tout au moins la quantité d'eau est très infime. Ce qui fait que, dans cette zone, les migmatites sont très rares.

B.- MIGMATITES ET GRANITISATION.- Après la création du terme "migmatite" par SEDERHOLM en 1908, beaucoup de confusions sont nées autour de la définition de ce terme. Nous donnons ci-dessous une des définitions avancées lors de la 21e session du Congrès Géologique International de Copenhague (1960) : Une migmatite est une roche macroscopiquement composite comprenant deux ou plusieurs parties pétrographiquement différentes dont l'une est la roche-hôte, généralement dans un niveau plus ou moins métamorphique, l'autre est d'apparence pegmatitique, aplitique, granitique ou généralement plutonique (R.V. DIETRICH et K.R. MEHNERT). On peut alors distinguer :

- le paléosome, c'est-à-dire la roche-hôte intacte ou légèrement modifiée ;

- le <u>néosome</u> qui comprend la partie de la roche nouvellement formée et qui comporte : a) le "<u>leucosome</u>" (partie plus claire que la roche-hôte). b) le "<u>mélanosome</u>" contenant des minéraux noirs tels que biotite, hornblende, cordiérite et autres.

De ce fait, on a été amené à parler de "mobilisation", c'est-à-dire de migration de composants géochimiques sans que le processus physico-chimique de cette migration soit évoqué. Il en découle les termes "mobilisat" qui comprend la partie mobile de la roche et "restite" qui est formé par la partie immobile ou moins mobile de la roche.

La plupart des auteurs admettaient que la partie leucocrate des migmatites résultait de métasomatose alcaline venant des profondeurs. Mais, peu de temps après la création du terme par SEDERHOLM, d'autres commençaient déjà à penser que certaines migmatites se sont formées par anatexie (ou fusion partielle) en profondeur des gneiss, par simple arrangement des éléments, les leucocrates granitiques, d'une part, et les mélanocrates de l'autre, sans qu'il y ait apport. Ce sont les endomigmatites de P.MICHOT(1). Ces idées ont été développées par J.M.PETERLONGO(2) dans les monts du Lyonnais (Massif central français) et par K.R.MEHNERT(3) dans la Forêt-Noire (Allemagne).

---

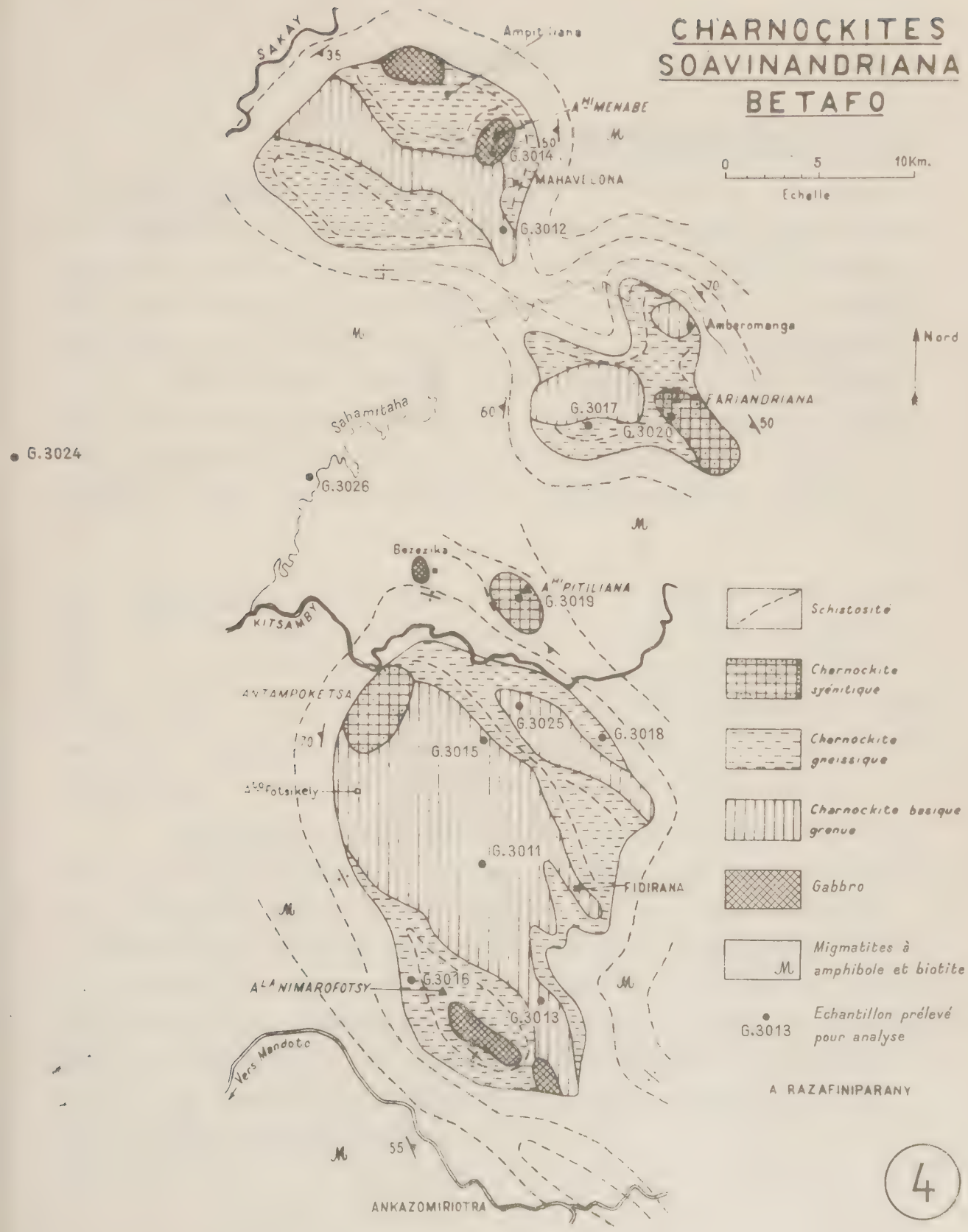
(1) MICHOT P. (1957).- Phénomènes géologiques dans la catazone profonde. Geologische Rundschau, Band 46, Heft 1, pp.147-173.

(2) PETERLONGO J.M. (1958).- Les terrains cristallins des Monts du Lyonnais (Massif central français). Annales de la Faculté des Sciences de l'Université de Clermont-Ferrand. Numéro 4 - Géologie 4e fascicule.

(3) MEHNERT K.R. (1968).- Migmatites and the origin of granitic rocks. Elsevier Publishing Company, London.

Cependant, si la formation de beaucoup de migmatites et de granites peut être expliquée par ce phénomène, c'est-à-dire sans apport à partir des gneiss, il reste très vraisemblable que d'autres roches de composition granitique peuvent prendre naissance à partir de roches de composition non granitique par apport et départ d'éléments mobiles (généralement apport de Si, Na, K et départ de Fe, Mg, Ca).

Remarque : Dans ce qui suit, je serai amené à parler de granitisation, de métasomatose et d'anatexie pour expliquer certains faciès particuliers ou régionaux des charnockites rencontrées au cours de mes études. Ces termes seront utilisés ici surtout à titre descriptif, le mécanisme de fonctionnement physico-chimique de ces phénomènes n'étant abordé ou tout au plus suggéré avec prudence.


CHARNOCKITES
SOAVINANDRIANA
BETAFO
0
5
10Km.
Echelle
Nord
SAKAY
Ampitiliana
A^HI MENABE
G.3014
MAHAVELONA
G.3012
Amberomanga
FARIANDRIANA
G.3017
G.3020
Sahamitaha
G.3024
G.3026
Bezezika
A^HI PITILIANA
G.3019
KITSAMBY
ANTAMPOKETSA
G.3025
G.3018
G.3015
A^to Fotsikely
G.3011
FIDIRANA
A^LA NIMAROFOTSY
G.3016
G.3013
Vers Mandoto
ANKAZOMIRIOTRA
Schistosité
Charnockite syénitique
Charnockite gneissique
Charnockite basique grenue
Gabbro
Migmatites à amphibole et biotite
G.3013
Echantillon prélevé pour analyse
A RAZAFINIPARANY
4

Chapitre I

LE MASSIF DE SOAVINANDRIANA-BETAFO

A.- LOCALISATION.- La région étudiée est située à l'Ouest de Soavinandriana et de Betafo, entièrement dans les sous-préfectures de ces deux localités. Elle s'allonge sur 60 kilomètres et 15 kilomètres de large. Elle est localisée dans la surface délimitée par les méridiens 390 et 425 et les parallèles 780 et 717 (coordonnées LABORDE) et est à cheval sur les 6 feuilles des coupures au 1/100.000 du Service Géographique suivantes : Ivohibe (L.49), Soavina (M.49), Miandrarivo (M.48), Mandoto (L.48), Mahasolo (L.47) et Soavinandriana (M.47).

B.- HISTORIQUE.- Avant 1947, l'on peut dire que l'on ne disposait pour l'ensemble de cette région d'aucun document géologique important. Certes, beaucoup de personnes s'intéressant à la géologie et surtout aux minéraux, avaient parcouru la région, mais les documents qu'elles ont laissés étaient des notes d'itinéraires et d'observations de chantier d'exploitation.

Le premier lever géologique dans cette région fut effectué par des équipes du CEA en 1947-48. C'est dans le cadre de ces travaux que O.ORLOFF établit, en 1947, une carte au 1/50.000 d'une étroite bande qui s'allonge de Mahasolo à Soavinandriana. De même, en 1947-48, R.DAVID, P.DUCLOS et O.ORLOFF effectuaient des études géologiques dans les feuilles Antsirabe, Mandoto, Soavinandriana, Ramartina, Miandrivazo. Ils en ont établi une carte au 1/50.000 et des rapports succincts mais sans études pétrographiques.

Le premier travail de géologie régionale important fut entrepris en 1950 par J.GUIGUES. En effet, ce géologue exécuta à cette époque les levers géologiques au 1/200.000 des feuilles Ramartina-Mandoto. Les résultats de ses études furent publiés dans la série "Travaux du Bureau géologique" (ou TBG) nº19 du Service Géologique en 1951 et repris dans sa thèse sur "Les Terrains cristallins de la partie centrale de Madagascar" (Nancy 1952). La première carte géologique de la région fut publiée au 1/200.000 en 1951. J.GUIGUES décrit des migmatites à biotite et amphibole se rattachant au socle ancien et, dans la région de Fidirana, des granites du type esirien associé à des diorites et des gabbros à faciès malgachitique. Dans sa thèse, cet auteur mentionne pour la première fois le faciès malgachitique et donne une explication de ce phénomène en l'attribuant à un minéral jaune, biréfringent (probablement de la limonite) qui tapisse les fissures des feldspaths au voisinage des pyroxènes.

- A la même époque (1950), dans la région située un peu plus au Nord, L.LAPLAINE effectue le lever géologique au 1/200.000 des feuilles Tsiroanomandidy et Soavinandriana. Les résultats de ses études furent publiés dans le TBG nº20 du Service Géologique et repris dans sa thèse sur l' "Etude géologique du Massif cristallin malgache à la latitude de Tananarive" (Nancy 1953). La première carte géologique de la région fut publiée au 1/200.000 en 1951. Dans ses travaux, L.LAPLAINE parle du "complexe de Mahavelona" qu'il définit en ces termes : "le complexe de Mahavelona constitué par une granodiorite à faciès malgachitique et de migmatites à amphibole représente, d'une part, une réaction d'endomorphisme d'un granite Kalambatréen intrusif dans un massif de gabbros et, d'autre part, une migmatisation par ce même granite du massif de gabbros".

- En 1959, G.HOTTIN entreprend une étude géologique au 1/100.000 de la feuille Mahasolo. Il y cartographie un ensemble migmatitique à biotite et amphibole et, dans la partie Sud de la feuille, un important massif de roches basiques, constitué principalement de gabbros plus ou moins transformés et de granodiorites à faciès généralement malgachitique. Une carte au 1/100.000 de la région fut publiée en 1960.

- Enfin, en 1961, j'ai commencé mon étude générale sur les charnockites de Madagascar par la région de Soavinandriana-Betafo, dans les zones de la haute Sakay et de la haute Kitsamby. J'ai procédé à l'étude de détails des 3 principaux massifs charnockitiques de la région (Fidirana, Amberomanga et Mahavelona).

C.- <u>GISEMENT</u>.- Le fond géologique de la région est constitué par un ensemble granito-migmatitique à amphibole à enclaves résiduelles d'amphibolite et parfois de gabbro. Les faciès de cet ensemble varient du type leucocrate pauvre en ferromagnésiens au type riche en amphibole passant aux amphibolites. D'ailleurs le problème est fortement complexe car, dans cet ensemble granito-migmatitique, existent d'autres formations granitiques mais d'origine et d'âge différents. C'est là un problème général et de détail qui concerne tout le complexe cristallin malgache, mais qui sort nettement du domaine assigné au présent travail. Dans mes travaux, l'étude des charnockites étant l'objectif principal, je me suis surtout attaché à étudier en détail les massifs charnockitiques ; l'enveloppe de ces derniers n'a fait l'objet d'études particulières que dans les zones des contacts et dans les zones assez restreintes longeant ces contacts.

Le but était de voir les relations des massifs avec leurs enveloppes.

Dans la région concernée par notre étude, cet ensemble granito-migmatitique présente une tectonique compliquée avec une succession d'anticlinaux et de synclinaux. C'est dans une de ces zones synclinales succédant vers l'Ouest à l'anticlinal de Mandoto que se situent les formations charnockitiques de Soavinandriana-Betafo.

Géographiquement, les charnockites étudiées se répartissent en trois groupes : groupe de Fidirana, groupe d'Amberomanga, groupe de Mahavelona.

Bien que géographiquement distincts, ces trois groupes présentent une analogie bien nette du point de vue de leur gisement et de leur pétrographie. En effet, chaque groupe se présente en gisement plus ou moins elliptique, dont le grand axe est orienté généralement NW-SE, avec une ou plusieurs apophyses.

Chaque gisement comprend un noyau de charnockites basiques associées à des gabbros, d'allure plus ou moins elliptique et également orienté NW-SE. Ce noyau de charnockite basique est enveloppé par des charnockites acides à texture gneissique.

Dans cet ensemble, les charnockites acides syénitiques paraissent avoir leur particularité. Elles se présentent en petits massifs de forme ovoïde, dominant les pénéplaines de charnockite, ou bien en formation isolée au milieu des migmatites à amphibole et biotite, comme c'est le cas du Mont Ambohipitiliana au Nord de Fidirana.

D.- <u>PETROGRAPHIE</u>.- I.- LES ENVELOPPES.- J'ai déjà indiqué précédemment que les migmatites qui constituent les enveloppes pré-

sentent des variations de faciès fréquentes et accusées. Elles sont parfois bien litées, presque schisteuses, parfois anatexiques à schistosité tourbillonnaire. Dans certains cas, la schistosité disparaît et la roche prend un aspect granitoïde. Ces migmatites peuvent être leucocrates ou foncées.

1º- Faciès leucocrate.- La roche est très claire. Elle est homogène à grain plutôt fin, légèrement orientée. Les cristaux de feldspath sont rose pâle ou blancs.

Au microscope, les éléments constituants présentent une structure hétéroblastique et comportent : quartz - plagioclase acide (oligoclase) parfois séricitisé - microcline - biotite parfois chloritisée - accessoirement apatite et magnétite. Il s'agit d'une roche ayant la composition d'un granite leucocrate.

2º- Faciès normal.- La roche est assez claire, mais nettement orientée. L'orientation est soulignée par les dispositions des cristaux d'amphibole et de biotite dans la texture générale. Les grains sont moyens et homogènes, très rarement hétérogènes. Les cristaux de feldspath sont rose pâle ou blancs. C'est une roche très proche d'un granite à biotite et hornblende. Si les ferromagnésiens sont assez importants, on a une composition de granodiorite.

L'étude au microscope polarisant montre : quartz - plagioclase séricitisé - microcline et microcline perthitique - myrmékite - hornblende - biotite plus ou moins chloritisée - apatite. La structure est généralement porphyroblastique.

3º- Faciès basique.- La roche est foncée, à grain moyen et riche en amphibole. Au microscope, la lame mince présente :

quartz - plagioclase basique (généralement de l'andésine) - hornblende abondante - biotite - accessoirement apatite, magnétite et zircon. La structure est généralement lépido-nématoblastique, due à l'orientation des cristaux de biotite et de hornblende dans le plan de la schistosité. Il s'agit donc d'amphibolite feldspathique qui passe au faciès leucocrate, soit brutalement sans transition, ce qui donne alors un ensemble épibolitique, soit graduellement par apparition progressive de microcline et diminution parallèle des ferromagnésiens, ce qui donne une zone de transition granodioritique et un ensemble anatexique.

Ces faciès basiques possèdent généralement des enclaves d'amphibolite en banc ou en lentille, roche noire ou verte constituée essentiellement par des aiguilles d'amphibole (hornblende ou actinote) ainsi que des nodules de gabbro. Ces nodules dont les dimensions sont généralement décimétriques, rarement métriques, sont constitués par une roche noire massive, compacte, équante, à grain moyen et présentant des cristaux de feldspath brun violacé et beaucoup de ferromagnésiens. Au microscope, on voit que cette roche est composée d'andésine, augite ouralitisée, apatite et magnétite. La structure est granoblastique.

4º- <u>Faciès porphyroïde</u>.- Au Sud de la zone étudiée, dans la région d'Ankazomiriotra, ainsi que dans le centre de la zone, dans la région d'Ankisabe, les migmatites à biotite et hornblende passent à un faciès porphyroïde. Ce faciès porphyroïde n'affecte pas d'une façon homogène une zone bien définie, mais il s'interpénètre avec le faciès normal, si bien qu'il est impossible d'en faire une cartographie précise. A l'affleurement, on voit que le faciès normal lité caractérisé par des cristaux de feldspath rose se charge de cristaux bien automorphes de

feldspath brun violacé qui, à l'oeil nu, tranche nettement sur l'ensemble. Ces cristaux peuvent être de grande taille et dépasser parfois 2 centimètres. Au microscope, on voit un ensemble à structure porphyroblastique constitué par du quartz, du plagioclase plus ou moins séricitisé, du microcline perthitique (en porphyroblastes), de la hornblende, de la biotite et accessoirement de l'apatite. La myrmékite est abondante. Le sphène peut exister mais rarement. Ce granite renferme des nodules de gabbros résiduels montrant encore des cristaux d'augite partiellement transformés en hornblende, ainsi que des enclaves d'amphibolite feldspathique. Ces dernières sont essentiellement composées de plagioclase basique, hornblende abondante et biotite. Parfois on peut noter la présence du sphène.

Dans l'ensemble, l'examen de ces faciès porphyroïdes donne l'impression que les cristaux de feldspath violacés ont été surajoutés au fond migmatitique à amphibole. Tout amène à penser qu'il y a eu en certains endroits, des zones qui ont subi une feldspathisation tardive.

II.- LES CHARNOCKITES.- Nous avons vu dans l'étude des gisements que les charnockites de Soavinandriana-Betafo constituent une série allant d'un type basique gabbroïque à un type gneissique acide et à un type syénitique. Ces charnockites (et principalement les termes basiques) sont associées à des gabbros.

1º- <u>Les charnockites basiques grenues</u>.- Il s'agit de roches noires, compactes, contenant du feldspath jaune-brun ou vert foncé à noir et beaucoup de ferromagnésiens. Le grain est moyen à tendance fine, homogène. La texture est parfois équante, parfois orientée, les deux faciès passant progressivement de l'un à l'autre. Au microscope, la composition minéralogique moyenne

comprend : andésine-labrador, hypersthène fortement polychroïque (vert clair à rose), pyroxène monoclinique verdâtre de la série diopside-hédenbergite, hornblende, biotite, apatite et magnétite. La structure est grenue.

La composition moyenne est donc celle d'un gabbro. Il n'y a pas beaucoup de changements dans la composition des charnockites basiques lorsque l'on passe des types non orientés aux types orientés. Cependant, l'étude d'un certain nombre de lames minces montre la présence du quartz dans ces charnockites gabbroïques et surtout dans le faciès orienté. Dans ce cas, le plagioclase est plus acide (oligoclase-andésine). Il y a donc passage à des types quartzo-dioritiques.

Les charnockites basiques sont associées sur le terrain à des gabbros dont il est difficile de déterminer les limites, ces derniers passant aux premières d'une façon progressive. Seuls les Monts Ambohimenabe et Ambohimizana au Nord de Mahavelona paraissent constituer des formations gabbroïques bien individualisées.

Les gabbros se présentent en roches noires compactes, à grain moyen dans lesquelles on voit de grands cristaux de pyroxène. Les cristaux de feldspath ont une coloration violacée. La texture est équante. L'étude des lames minces montre une composition moyenne avec : labrador, hypersthène, pyroxène monoclinique vert de la série diopside-hédenbergite, ouralite, hornblende, biotite, magnétite. La structure est grenue cataclastique.

Minéralogiquement, on voit qu'il n'y a pas de grande différence entre les charnockites gabbroïques et les gabbros qui leur sont associés. Ces derniers ont déjà subi des modifications notables soulignées par l'apparition de la hornblende et

de la biotite. La différence constatée entre gabbro et charnockite est d'ordre macroscopique, basée sur l'aspect des feldspaths qui, dans le cas des charnockites, ont le faciès malgachitique.

Le gabbro du Mont Ambohimenabe n'est pour ainsi dire pas ouralitisé ni écrasé. Il est également à grain moyen et présente des feldspaths violacés, beaucoup de ferromagnésiens, parmi lesquels de l'olivine. Son étude microscopique donne : labrador, augite, olivine altérée en serpentine dans les fissures. La structure est grenue intacte. Chaque cristal d'olivine présente au contact des plagioclases, une auréole dont la structure montre trois zones distinctes. La zone interne, compacte, est constituée par de l'hypersthène polychroïque rose à jaune clair dont les clivages sont normaux aux limites de la zone. La zone intermédiaire, compacte également, est constituée par de la hornblende bleu-vert à jaune, à clivages normaux aux limites de la zone. Enfin, la zone externe, fibreuse, est constituée par des fibres polychroïques vert pâle à brun-vert de gédrite, implantées perpendiculairement aux limites de la zone.

L'étude microscopique précédente indique que le gabbro d'Ambohimenabe est à l'état résiduel puisqu'il a déjà subi une transformation, celle de l'olivine en particulier. Sa position au milieu des charnockites amène à penser à un résidu non transformé en charnockite. La charnockitisation se traduit ici par la transformation de l'olivine et de l'augite avec apparition de l'hypersthène et d'un pyroxène monoclinique verdâtre de la série diopside-hédenbergite et de la hornblende.

2º- <u>Les charnockites gneissiques à composition granitique</u>.- Il s'agit de roches orientées à grain moyen, foncées parfois même noires, pourtant leucocrates au point de vue composition, pré-

sentant du quartz, du feldspath et quelques ferromagnésiens. Les variations de faciès sont fréquentes : la roche peut être litée, parfois oeillée, parfois porphyroïde, c'est-à-dire présentant de gros porphyroblastes de feldspaths généralement à faciès malgachitique, caractérisés par une coloration jaune cassonade à noir-brunâtre.

Le type normal, noir, à grain moyen, légèrement orienté, montre au microscope : quartz, orthose, oligoclase, pyroxène monoclinique verdâtre de la série diopside-hédenbergite, hypersthène polychroïque (vert clair à rose clair), hornblende, biotite, magnétite. La structure est hétéroblastique.

Le type porphyroïde est une roche hétérogène de coloration brun-jaune. Elle présente du quartz et du feldspath, avec quelques ferromagnésiens. Dans cet ensemble de grain moyen se développent des porphyroblastes de feldspath brun-jaune malgachitique. Au microscope, on observe : quartz, oligoclase, orthose microperthitique, myrmékite abondante, hypersthène vert clair à rose peu abondant, pyroxène de la série diopside-hédenbergite, un peu de biotite, magnétite. La structure est porphyroblastique.

Le passage des charnockites basiques orientées aux charnockites acides est très progressif. Nous avons vu que, des charnockites gabbroïques non orientées aux types orientés, il y a apparition de quartz tandis que le feldspath plagioclase devient plus acide. Ces types quartzo-dioritiques se chargent de plus en plus d'orthose et parallèlement les ferromagnésiens deviennent moins abondants. L'on aboutit ainsi aux charnockites granitiques. Ceci semble montrer qu'il y a eu une granitisation des gabbros. Les faciès porphyroïdes indiquent qu'il y a eu une feldspathisation postérieure. Dans ces faciès, on observe que plus la roche est riche en feldspath, plus les ferromagné-

siens diminuent. Il en est de même du quartz. Ce phénomène tardif de feldspathisation conduit au faciès syénitique.

3º- Les charnockites syénitiques.- Elles se rencontrent parfois dans la zone des charnockites granitiques porphyroïdes. Lorsque celles-ci sont très riches en feldspath potassique, le quartz est rare ou parfois même absent, c'est-à-dire que l'on a des syénites. Néanmoins, les charnockites syénitiques peuvent avoir des gisements bien individualisés. Elles constituent en effet les monts Antampoketsa, Ambohipitiliana et Fariandriana.

Antampoketsa.- La roche d'une teinte vert-bleu foncé, de texture équante, plutôt massive, à grain hétérogène, est essentiellement constituée par des cristaux de feldspath vert-bleu foncé avec quelques cristaux de pyroxène. Pas de biotite. Altérés, les feldspaths prennent la coloration malgachitique brun foncé à jaune miel. La roche à l'affleurement est recouverte d'une croûte blanchâtre où la coloration malgachitique a entièrement disparu.

L'étude des lames minces montre : quartz rare, des porphyroblastes d'orthose perthitique, oligoclase, hypersthène vert à rose clair, pyroxène vert non pléochroïque à angle d'extinction variant de 5º à 45º (série diopside-hédenbergite), hornblende brun foncé à brun-jaune, apatite, zircon. La myrmékite existe. Les ferromagnésiens sont peu abondants. La structure est hétéroblastique. On voit que dans une mésostase granoblastique de quartz, feldspath et ferromagnésiens, se sont développés des cristaux plus grands d'orthose, poecilitiques (à inclusions de petits cristaux de quartz et de plagioclase) et xénomorphes.

Cette formation renferme de petites enclaves de 1 à 10 centimètres de diamètre, sombres à grain fin, de forme ellipti-

que, constituées par du quartz, de l'oligoclase, de l'orthose perthitique, du diopside-hédenbergite, de l'hypersthène, de l'apatite. La structure est granoblastique. La composition de ces enclaves se rapproche de celle des charnockites gneissiques.

Ambohipitiliana.- La roche est bleu-vert, compacte, équante, à grains hétérogènes. Les feldspaths de coloration bleu-vert forment de grandes plages entre lesquelles on voit de petits cristaux leucocrates et quelques cristaux de ferromagnésiens. Lorsque la roche est altérée, elle prend une teinte brun-jaune malgachitique. Au microscope, la composition est la suivante : oligoclase, orthose en grands porphyroblastes, myrmékite, hypersthène en petits cristaux peu abondants, hornblende, apatite. Structure porphyroblastique. Les ferromagnésiens sont peu abondants.

Fariandriana.- La roche est vert foncé à noir, orientée, hétérogène. Elle présente des porphyroblastes de feldspath vert-jaune à noir et quelques cristaux de pyroxène et de biotite. Pas de quartz. Au microscope, l'on voit : plagioclase séricitisé, porphyroblastes d'orthose, myrmékite abondante, hypersthène, biotite abondante ondulée, magnétite, zircon. Structure porphyroblastique.

III.- CONCLUSION.- L'étude du massif charnockitique de Soavinandriana-Betafo (gisement et pétrographie) semble montrer :

a) que l'on passe progressivement des gabbros aux charnockites gneissiques acides en passant par les charnockites basiques de la façon suivante :

- plagioclase devenant de plus en plus acide
- apparition du quartz
- apparition de l'orthose.

L'on peut donc penser à une granitisation des formations gabbroïques préexistantes.

b) que localement les charnockites gneissiques sont porphyroïdes, et parfois même sont envahies par les gros porphyroblastes d'orthose, tandis que le quartz disparaît et l'on passe alors à des charnockites syénitiques.

L'on peut donc penser à une métasomatose alcaline tardive.

E.- CARACTERES CHIMIQUES.- 13 échantillons ont été analysés au Laboratoire d'Analyses Minérales et d'Essais Industriels de la Direction des Mines et de l'Energie de Tananarive. Les situations des points de prélèvement de ces échantillons sont portées sur l'esquisse géologique de la planche nº4. Nous donnons à la suite :

1º) Un tableau groupant les résultats des analyses pondérales avec les valeurs des paramètres LACROIX ainsi que des paramètres de NIGGLI.

2º) Un tableau montrant les pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA.

3º) Un diagramme des paramètres de NIGGLI selon les valeurs croissantes de alk.

4º) Un diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs de K^+.

I.- REMARQUES GENERALES.- Le nombre d'analyses effectuées n'est pas très élevé, ce qui ne nous permet donc pas d'être trop affirmatif dans nos conclusions. Cependant, étant donné la difficulté de multiplier le nombre des analyses, j'ai estimé qu'il est toujours intéressant de tirer des remarques d'observation sur les données dont on dispose, ne serait-ce qu'à titre comparatif. La comparaison des données brutes des analyses pondérales effectuées dans le cadre de ce travail à celles d'autres analyses(1) de roches de la région qui existent déjà dans la littérature permet déjà de dégager les remarques suivantes :

a) Les charnockites gabbroïques sont d'une manière générale plus riches en alcalins que les gabbros associés et les gabbros non associés à des charnockites de la région.

b) Les charnockites granitiques et syénitiques, c'est-à-dire leucocrates, sont plus riches en fer ferreux (FeO) que les granites à biotite et hornblende de la région.

---

(1) Je donne ici à titre de comparaison, quatre analyses relevées dans le TBG nº19 de J.GUIGUES sur l' "Etude géologique des feuilles Ramartina-Mandoto" (p.43) dont deux relatives à des gabbros et deux autres relatives à des granites à biotite et hornblende.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	H_2O+	H_2O-	MnO	CO_2	Total
(1)	72,84	13,94	1,94	1,02	0,33	1,02	3,27	4,99	0,23	0,19	0,45	0,06			100,28
(2)	70,88	14,44	2,19	1,01	0,14	0,92	4,35	5,18	0,42	0,19	0,35	0,21			100,26
(3)	53,88	8,44	2,58	8,76	10,47	10,58	1,91	0,88	2,11	0,07	0,38	0,08			100,14
(4)	48,30	16,51	0,76	6,72	10,64	13,16	1,89	0,42	0,58	tr	0,41	0,22	0,12	0,35	100,09

(1) : Granite, Nord de Ramartina

(2) : Granite, bord de l'Andratsay

(3) : Norite mélanocrate, entre l'Ingalana et le Sahasarotra

(4) : Gabbros à olivine, Ouest Ramartina.

II.- INTERPRETATION.- a) Lorsque l'on classe les analyses chimiques suivant les valeurs croissantes des alcalins, on constate que l'on obtient le classement : gabbros associés aux charnockites, charnockites basiques, charnockites gneissiques granodioritiques, charnockites syénitiques.

b) Le diagramme des paramètres de NIGGLI selon les valeurs croissantes du paramètre alk montre deux parties :

1º) Une première partie qui va des gabbros aux charnockites gneissiques présentant un accroissement de si et al et une décroissance de fm et de c. Il s'agit donc d'une granitisation.

2º) Une deuxième partie correspondant aux charnockites syénitiques où si semble ne plus varier, al toujours croissant, fm et c décroissants.

Cette deuxième partie correspond à la métasomatose alcaline tardive qui se traduit par une feldspathisation.

Sur ce diagramme, on constate que les points correspondant aux enveloppes sont situés en dehors des courbes. Ceci semble montrer qu'il n'y a pas de relation entre charnockites et leurs enveloppes. Seul un échantillon de charnockite est sorti des courbes. Il s'agit d'un échantillon de charnockite gneissique prélevé près de la bordure du massif, caractérisé par un fort pourcentage de silice.

c) Le diagramme de variation des pourcentages en cations suivant les valeurs croissantes de K^+ souligne les constatations précédentes :

1º) des gabbros aux charnockites gneissiques : Si, Al et Na augmentent régulièrement, tandis que Ca, Fe, Mg décroissent régulièrement (granitisation).

2º) aux charnockites syénitiques correspondent des valeurs assez constantes de Si, tandis que Al est toujours croissant et que Ca, Fe, Mg décroissent (métasomatose alcaline tardive se traduisant par une feldspathisation).

Ici encore, les points correspondants aux enveloppes ne s'intègrent pas dans les différentes courbes.

d) Le diagramme K_2O - Na_2O - CaO (Pl.10, page 55) illustre bien cette granitisation à partir des gabbros par métasomatose alcaline.

F.- FACIES DE METAMORPHISME.- L'étude pétrographique précédente nous a montré une grande différence des associations minérales observées entre les charnockites et leurs enveloppes. Ce qui frappe en premier lieu, c'est l'absence de l'hypersthène dans les enveloppes alors que ces dernières renferment des nodules de gabbro résiduels comparables à ceux qui sont associés aux charnockites. Dans le cas de l'enveloppe, les gabbros sont transformés en amphibolite par la transformation de l'augite en hornblende verte. Dans le cas des massifs charnockitiques, il y a transformation des gabbros en charnockites basiques qui présentent alors du pyroxène monoclinique (diopside-hédenbergite), de l'hypersthène et de la hornblende vert-brun(1).

D'autre part, les migmatites de l'enveloppe sont riches en biotite. Les charnockites en contiennent un peu ; en

---

(1) Il faut cependant souligner le fait qu'ici les nodules de gabbro rencontrés dans les enveloppes migmatitiques sont de petites dimensions et ne sont en aucun cas comparables aux gabbros charnockitiques qui, primitivement, ont constitué de véritables massifs.

TABLEAU DES ANALYSES CHIMIQUES

N°.....	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
INDICATIF...	G.3014(1)	G.3013	G.3011	G.3012	G.3015	G.3025	G.3016	G.3017	G.3018	G.3020	G.3019	G.3024	G.3026
SiO_2	44,1	45,5	48,4	46,6	49,7	50,1	64,5	56,2	58,7	54,7	57,3	65,7	53,1
Al_2O_3	14,9	9,4	18,3	18,2	12,7	18,1	16,5	17,3	19,1	19,5	20,5	16,0	22,2
Fe_2O_3	7,5	8,8	0,4	2,6	4,7	1,9	1,0	3,6	2,7	2,9	1,1	2,9	2,0
FeO	7,6	9,2	8,6	8,9	7,6	7,3	4,0	4,8	3,2	5,9	4,8	2,7	5,0
MgO	8,9	13,6	7,3	7,6	7,5	6,4	3,4	3,4	4,2	2,0	1,3	2,9	4,0
CaO	13,5	9,0	10,4	8,9	9,4	7,7	5,9	5,3	2,7	4,2	2,0	3,6	5,3
Na_2O	1,3	1,2	3,5	2,7	4,0	4,0	2,7	3,8	3,6	3,9	4,9	3,8	3,2
K_2O	0,2	0,3	0,9	1,6	1,2	1,6	0,8	4,0	4,3	4,2	6,0	0,6	3,1
TiO_2	0,2	0,8	1,3	1,4	1,5	0,8	0,5	0,5	0,4	0,9	0,8	0,2	0,7
P_2O_5	0,4	traces	0,3	0,6	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	traces	0,2
MnO	-	traces	-	-	-	-	-	-	-	traces	traces	-	traces
H_2O+	0,9	1,1	0,9	1,1	0,8	1,1	0,5	0,8	0,5	0,7	0,5	0,4	0,6
H_2O-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1
Total	99,7	99,1	100,5	100,4	99,7	99,4	100,0	100,0	99,7	99,5	99,7	99,1	99,5
Analyste(2)	Rz	Ro	Rz	Rz	Rz	Rz	Rz	Rz	Rz	Ro	Ro	Rz	Ro
Date	24-9-67	28-8-67	24-9-64	24-9-64	24-9-64	24-9-64	24-9-64	24-9-64	24-9-64	11-9-67	28-8-67	24-9-64	12-9-67
C.I.P.W. ...	III,5,4', (4)5	'IV,5,4, 4(5)	II(III), 5',(3)4,4(5)	II(III), 5,'4,4	III,5, (2)3,4'	II,5,3,4	'II,'4,'4,4'	II,5, (2)3,3'	'II,(4)5, 2,3	II,5, (2)3,3'	I(II),5, '2,3	(I)II, (3)4,3,(4)5	II,5,3,3'
h	2	2	1'	2	2		(1)2	2	2	2'	2	2'	2
k	(1)2	1	3	4	2		1	1	1	1	5	1	1
l	2	'2	'2	1'	2		1	(1)2	1	1	1	1	1
m	2'	2	(2)3	(2)3	2(3)		(2)3	3	2	3(4)	'4	2'	'3
Niggli													
si	89,33	88,88	109,29	104,38	114,81	122,50	227,64	165,85	187,25	168,21	193,91	251,68	149,66
al	17,55	10,80	24,30	23,98	17,25	26,03	34,25	30,03	35,84	35,27	40,81	36,05	36,80
fm	50,69	67,71	41,58	46,51	48,76	41,83	32,41	34,82	35,06	31,03	22,92	33,61	32,88
alk	2,77	2,64	8,94	8,14	10,71	11,96	11,02	18,38	19,86	19,85	29,00	15,55	14,30
c	28,97	18,83	25,16	21,36	23,26	20,17	22,31	16,75	9,22	13,83	7,25	14,77	16,00
ti	0,300	1,172	2,201	2,352	2,598	1,467	1,323	1,106	0,956	2,075	2,030	0,574	1,479
k	0,092	0,141	0,145	0,281	0,165	0,208	0,163	0,409	0,440	0,415	0,446	0,094	0,389
mg	0,527	0,588	0,594	0,548	0,532	0,561	0,555	0,432	0,573	0,297	0,287	0,495	0,514
p	0,338		0,286	0,567	0,292	0,102	0,149	0,124	0,134	0,389	0,428		0,238

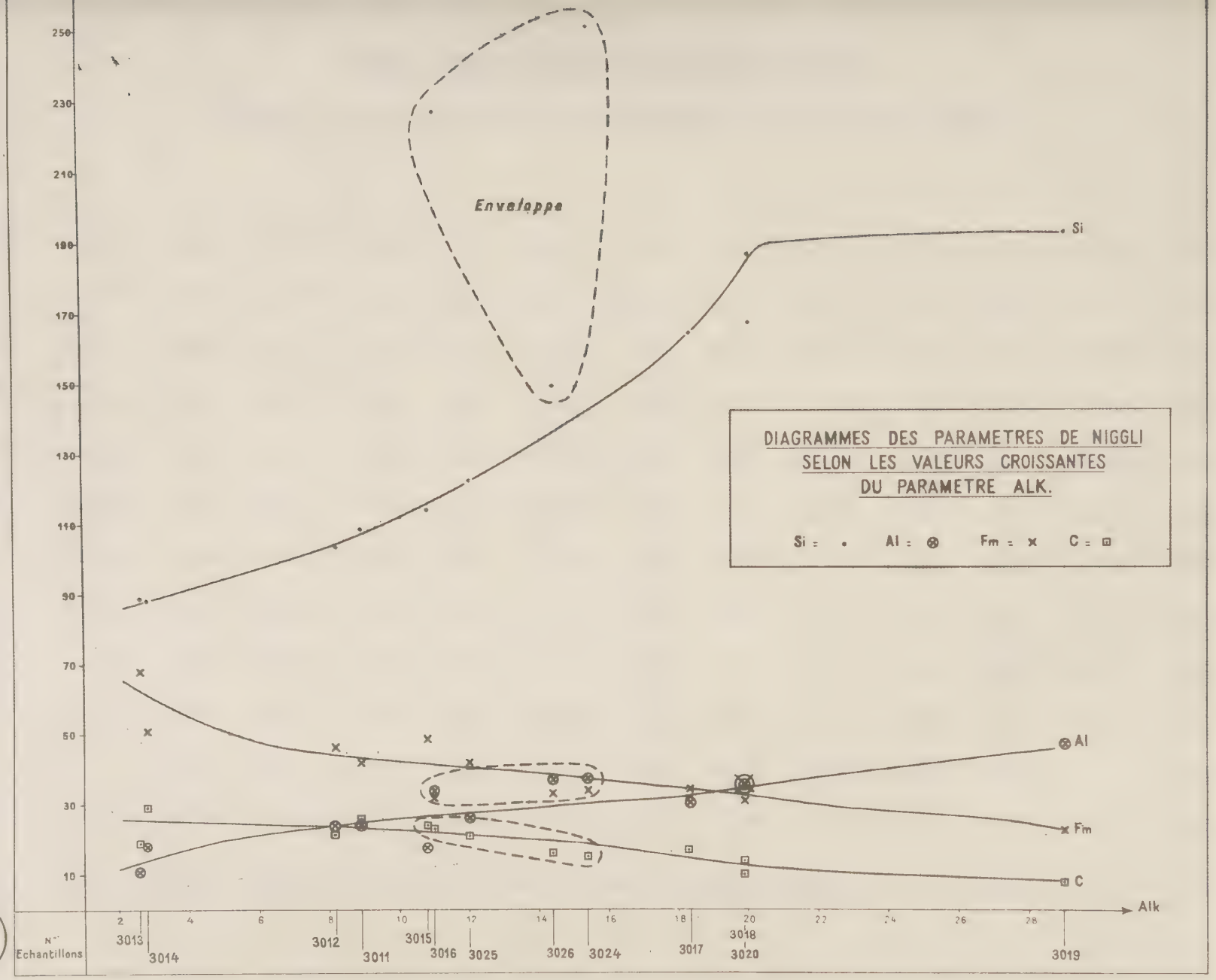
(1) Indicatif G = échantillon recueilli par A.RAZAFINIPARANY
(2) Analystes : Rz = R.RAZAFINDRATANDRA Ro = B.ROUSSEL.

5

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE SOAVINANDRIANA-BETAFO

Provenances des échantillons analysés

Nº	Indicatif	Détermination pétrographique	Localisation	Coordonnées géographiques LABORDE	
				X	Y
1	G.3014	Gabbro associé aux charnockites	Ambohimenabe	772,200	409,100
2	G.3013	Gabbro associé aux charnockites	500 m NNW de Torato	726,400	412,000
3	G.3011	Charnockite gabbroïque non orientée	Vallée de l'Andranomavo à 2500m à l'Ouest d'Ambohiboahangy	733,000	410,300
4	G.3012	Charnockite gabbroïque non orientée	Vallée de l'Andranomavo au SE de Miarinkofeno	768,000	409,600
5	G.3015	Charnockite gabbroïque orientée	Antsahalava	740,000	409,600
6	G.3025	Charnockite dioritique orientée	Ambohidava	743,000	410,000
7	G.3016	Charnockite gneissique granodioritique	Ambalanimarofotsy	727,600	406,800
8	G.3017	Charnockite syénitique quartzifère	Napombo	757,200	413,900
9	G.3018	Charnockite syénitique porphyroïde quartzifère	Ambohibelonandriana	740,000	415,500
10	G.3020	Charnockite syénitique orientée	1500 m à l'E de Maravoandriana	758,000	418,000
11	G.3019	Charnockite syénitique	Ambohipitiliana	748,700	410,800
12	G.3024	Migmatite à biotite et hornblende	1500 m à l'Est de Samaha	754,950	387,975
13	G.3026	Granite migmatitique porphyroïde à hornblende et biotite	2500 m au NE d'Analambararata	754,600	399,500

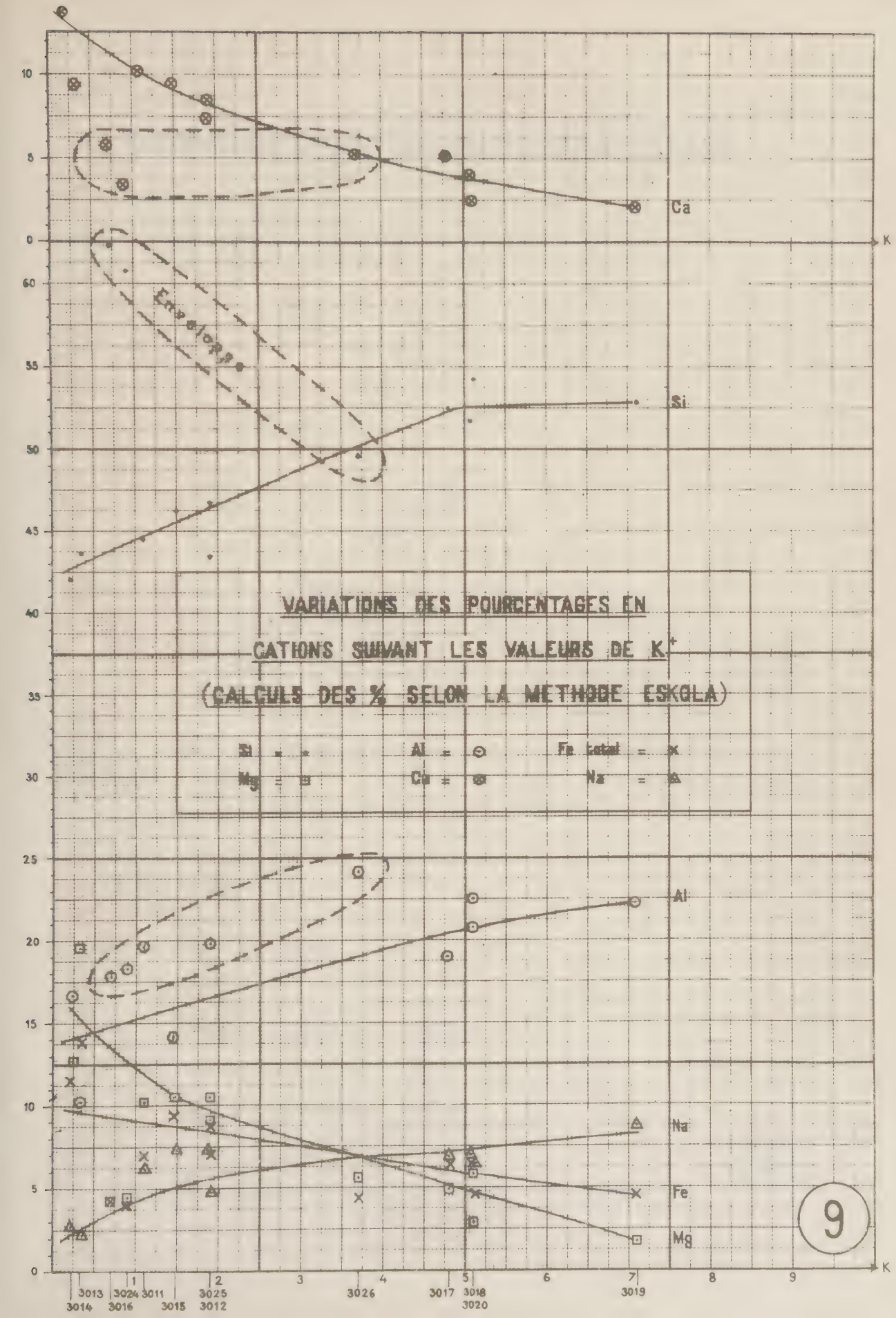

DIAGRAMMES DES PARAMETRES DE NIGGLI
SELON LES VALEURS CROISSANTES
DU PARAMETRE ALK.
Si = • Al = ⊗ Fm = × C = ⊡
Enveloppe
Si
Al
Fm
C
Alk
250
230
210
190
170
150
130
110
90
70
50
30
10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
N° Echantillons
3013
3014
3012
3011
3015
3016
3025
3026
3024
3017
3018
3020
3019

7

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE SOAVINANDRIANA-BETAFO

Tableau des pourcentages en Cations calculés selon la méthode ESKOLA

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Indi-catif	G.3013	G.3014	G.3011	G.3012	G.3015	G.3025	G.3016	G.3017	G.3018	G.3020	G.3019	G.3024	G.3026
Si	43,676	42,135	44,550	43,494	46,678	46,727	60,778	52,546	54,403	51,569	52,892	62,318	49,437
Al	10,615	16,748	19,817	19,984	14,032	19,860	18,291	19,029	20,826	21,628	22,262	17,854	24,316
Fe^{+++}	6,335	5,374	0,276	1,820	3,310	1,328	0,706	2,524	1,876	2,030	0,761	2,063	1,396
Fe^{++}	7,359	6,051	6,596	6,922	5,948	5,674	3,141	3,739	2,471	4,635	3,692	2,134	3,879
Mg	19,582	12,755	10,079	10,640	10,566	8,954	4,805	4,768	5,838	2,828	1,800	4,126	5,586
Ca	9,256	13,820	10,256	8,900	9,459	7,694	5,956	5,309	2,681	4,242	1,978	3,658	5,286
Na	2,229	2,404	6,235	4,877	7,271	7,220	4,924	6,876	6,457	7,116	8,754	6,976	5,766
K	0,367	0,243	1,057	1,906	1,438	1,905	0,962	4,774	5,087	5,054	7,070	0,726	3,684
Ti	0,575	0,143	0,897	0,980	1,056	0,560	0,353	0,350	0,278	0,636	0,553	0,142	0,488
P		0,322	0,233	0,473	0,238	0,078	0,079	0,079	0,078	0,239	0,234		0,157
OH	7,039	5,732	5,522	6,844	5,009	6,839	3,141	4,986	3,089	4,399	3,076	2,529	3,724
0/100 cations	147,910	149,634	149,436	149,272	149,904	153,435	166,236	155,474	158,333	156,117	155,858	167,303	156,431


VARIATIONS DES POURCENTAGES EN
CATIONS SUIVANT LES VALEURS DE K+
(CALCULS DES % SELON LA METHODE ESKOLA)
Si = •
Al = ⊙
Fe total = ×
Mg = ⊡
Ca = ⊗
Na = △
Ca
Si
Al
Na
Fe
Mg
K
10
5
0
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
3013
3014
3024
3016
3011
3015
3025
3012
3026
3017
3018
3020
3019
9

CHARNOCKITES DE SOAVINANDRIANA-BETAFO

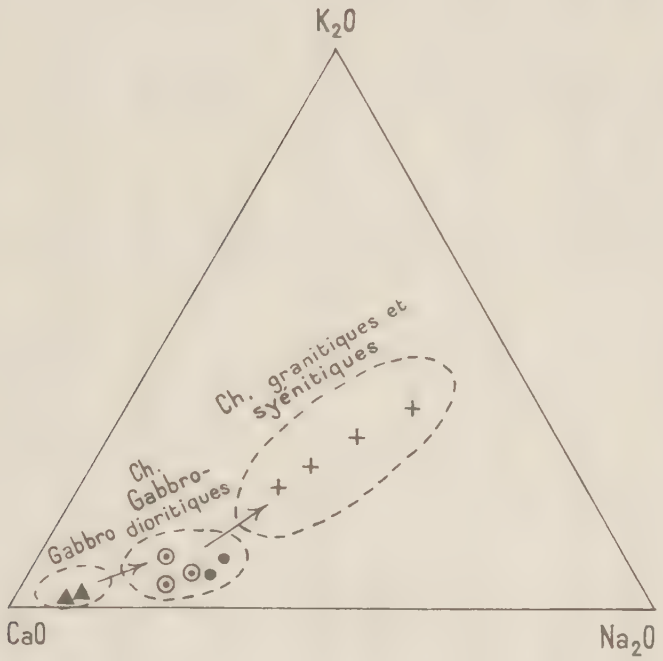


Diagramme K_2O-Na_2O-CaO , montrant la granitisation à partir des gabbros par apport d'alcalins.

▲ = Gabbro

⊙ = Charnockite gabbroïque

• = Charnockite dioritique

+ = Charnockite granitique et syénitique

10

CHARNOCKITES DE SOAVINANDRIANA-BETAFO

Diagramme K_2O - Na_2O - CaO

Nº	N a t u r e	K_2O	Na_2O	CaO
G.3014	Gabbro associé aux charnockites (à olivine)	1	8	91
3013	Gabbro associé aux charnockites	2	10	88
3011	Charnockite gabbroïque non orientée	4	22	74
3012	Charnockite gabbroïque non orientée	8	20	72
3015	Charnockite gabbroïque orientée	5	26	69
3025	Charnockite dioritique orientée	8	29	63
3016	Charnockite granodioritique	5	28	67
3017	Charnockite syénitique quartzifère	21	31	48
3018	Charnockite syénitique porphyroïde quartzifère	30	38	32
3020	Charnockite syénitique orientée	25	34	41
3019	Charnockite syénitique	36	44	20

particulier, les types granitiques et syénitiques en sont dépourvus ou tout au moins en sont très pauvres.

Il est donc évident qu'il y a des conditions de métamorphisme différentes entre les charnockites de Soavinandriana-Betafo et leurs enveloppes. Ces dernières présentent nettement une paragenèse minérale du faciès amphibolite alors que les charnockites ont une paragenèse du subfaciès hornblende-granulite du faciès granulite.

Pour l'étude des relations entre les compositions chimiques et minéralogiques, j'ai utilisé les diagrammes triangulaires ACF et A'FK qui ont été établis d'après les schémas suivants (WINKLER 1965) :

a) <u>Diagramme ACF</u> :

$$A = [Al_2O_3]^* + [Fe_2O_3] - ([Na_2O] + [K_2O])$$

$$C = [CaO] - 3{,}3\,[P_2O_5]$$

$$F = [MgO] + [MnO] + [FeO]$$

avec $A + C + F = 100$

La correction de la biotite a été négligée, d'autant plus que les termes granitiques et syénitiques sont pauvres en biotite ou n'en contiennent pas.

b) <u>Diagramme A'FK</u> :

$$A' = [Al_2O_3 + Fe_2O_3] - [Na_2O + K_2O] - [CaO]$$

$$K = [K_2O]$$

$$F = [FeO] + [MgO] + [MnO]$$

avec $A' + F + K = 100$

---

* : nombre de millimolécules résultant de la transformation des pourcentages en poids donnés par l'analyse.

Ce diagramme n'a été établi que pour les types syénitiques et granitiques.

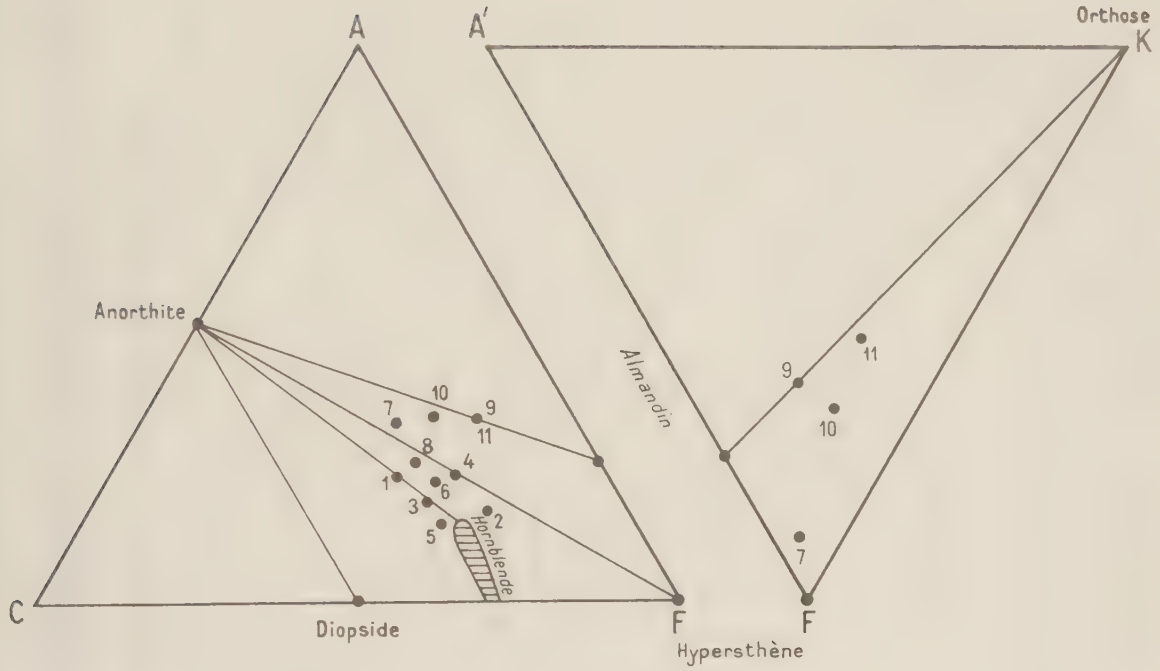
Le report des données des analyses chimiques des charnockites sur le diagramme ACF du subfaciès hornblende-granulite conduit aux constatations suivantes (cf. Pl.12) :

- Les charnockites basiques, ainsi que les gabbros qui leur sont associés, sont groupées dans les zones anorthite-hornblende-diopside, anorthite-hornblende-hypersthène, alors que les charnockites syénitique et granitique sont localisées dans la zone anorthite-almandin-hypersthène.

- Dans le cas des charnockites syénitiques et granitiques, néanmoins, le grenat n'a jamais été observé dans la région charnockitique de Soavinandriana-Betafo. Il y a ici une évolution nette vers le faciès granulite typique. Ceci fait penser à un changement des conditions du métamorphisme (augmentation de la température par exemple ou changement d'autres facteurs) marqué par la disparition de la biotite.

G.- <u>CONCLUSION SUR LES CHARNOCKITES DE SOAVINANDRIANA-BETAFO</u>.- L'on peut se demander d'où peut provenir la différence de faciès de métamorphisme entre les charnockites et leurs enveloppes migmatitiques de la région de Soavinandriana-Betafo. L'étude pétrologique a montré que les charnockites de cette région proviennent de gabbros intrusifs dans la série migmatitique dont le gabbro à olivine qui existe encore à l'état résiduel au Mont Ambohimenabe semble être le témoin. D'autres enclaves résiduelles de gabbro peuvent encore être rencontrées au sein des charnockites, en particulier des charnockites basiques gabbroïques. Mais ces enclaves sont déjà plus ou moins transformées et ne renferment plus d'olivine.

CHARNOCKITES DE SOAVINANDRIANA-BETAFO



Diagrammes ACF et A'FK

Faciès granulite, subfaciès hornblende granulite

1, 2, 3, . . . etc correspondent aux numéros des analyses chimiques (cf. pl.6)

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE SOAVINANDRIANA-BETAFO

Valeurs des paramètres ACF et A'FK

	Nº	Nature de la roche	A	C	F	A'	F	K
1	G.3014	Gabbro associé aux charnockites	23	32	45			
2	G.3013	Gabbro associé aux charnockites	17	21	62			
3	G.3011	Charnockite gabbroïque non orientée	19	30	51			
4	G.3012	Charnockite gabbroïque non orientée	23	24	53			
5	G.3015	Charnockite gabbroïque orientée	15	30	55			
6	G.3025	Charnockite dioritique orientée	21	27	52			
7	G.3016	Charnockite granodioritique	32	29	39	7	88	5
8	G.3017	Charnockite syénitique quartzifère	26	28	46			
9	G.3018	Charn.syénitique porphyroïde quartzifère	34	15	51	21	60	19
10	G.3020	Charnockite syénitique	34	22	44	13	65	22
11	G.3019	Charnockite syénitique	34	15	51	15	52	33
12	G.3024	Migmatite à biotite et hornblende	38	23	39	27	69	4
13	G.3026	Migmatite porphyroïde à hornblende	36	22	42	20	67	13

13

Ces gabbros ont subi une granitisation suivie d'une métasomatose alcaline. L'ensemble de ces transformations a donné une série charnockitique comprenant des types gabbroïque, dioritique, granodioritique et syénitique, le terme syénitique étant le terme ultime de la transformation.

Ces intrusions se sont effectuées dans le faciès amphibolite, mais alors que l'on s'attendrait normalement à trouver une paragenèse du faciès amphibolite, on observe une paragenèse caractéristique du faciès granulite.

Beaucoup d'auteurs ont travaillé sur le faciès granulite, et tous s'accordent à penser que ce faciès correspond à des transformations à des températures plus élevées et sous des pressions plus fortes que celles du faciès amphibolite. Ceci a amené d'ailleurs certains auteurs à conclure que le faciès granulite est un faciès anhydre ou tout au moins que les roches de ce faciès se sont formées en l'absence d'eau.

D'autres auteurs, au contraire, estiment que les granulites ont aussi bien pu se former sous de fortes pressions d'eau mais à des températures très élevées (TURNER et VERHOOGEN, 1960).

Dans tous les cas, ce qui caractérise le passage du faciès amphibolite au faciès granulite, c'est la disparition progressive de la hornblende et l'apparition graduelle correspondante de pyroxène orthorhombique. Or ce passage peut s'effectuer sous les mêmes conditions de température et de pression du faciès amphibolite s'il y a baisse brutale de la pression de vapeur d'eau (WINKLER : "La genèse des roches métamorphiques", 1965).

L'application de ces résultats à la région de Soavinandriana-Betafo explique la paragenèse qui y est observée dans

les charnockites. En effet, le métamorphisme des gabbros intrusifs, roches composées essentiellement de feldspath plagioclase et d'augite, sous les conditions de température et de pression solide du faciès amphibolite, va donner d'abord en premier lieu une roche à plagioclase, hornblende et biotite.

La formation de la hornblende à partir de l'augite anhydre nécessite de l'eau. Etant donné l'importance des dimensions du massif, ceci a provoqué une diminution sensible de la pression d'eau, ce qui a provoqué la transformation de la hornblende en diopside et hypersthène, c'est-à-dire l'apparition de la paragenèse du faciès granulite (subfaciès hornblende-granulite). Ainsi s'explique d'ailleurs la présence du diopside et de la hornblende jusque dans le faciès syénitique, terme le plus évolué de la transformation charnockitique.

Ces données nouvelles sur l'apparition du faciès granulite ont été également utilisées par J.TOURET en 1969 dans ses études des arendalites (charnockites d'Arendal) dans le Sud de la Norvège.

H.- AGE DE LA CHARNOCKITISATION.- Les résultats de l'étude pétrologique et du faciès de métamorphisme indiquent que la charnockitisation du Massif de Soavinandriana-Betafo ne peut pas être antérieure au métamorphisme, sinon on y observerait des signes de rétromorphose. La charnockitisation est donc contemporaine ou postérieure au métamorphisme régional.

Des mesures géochronologiques isochrones effectuées en 1969 au Laboratoire associé de géochronologie CNRS et Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand par Madame M.VACHETTE, par la méthode au Rubidium-Strontium sur roche totale dans cette série charnockitique ont donné un âge de 955 ± 102 MA.

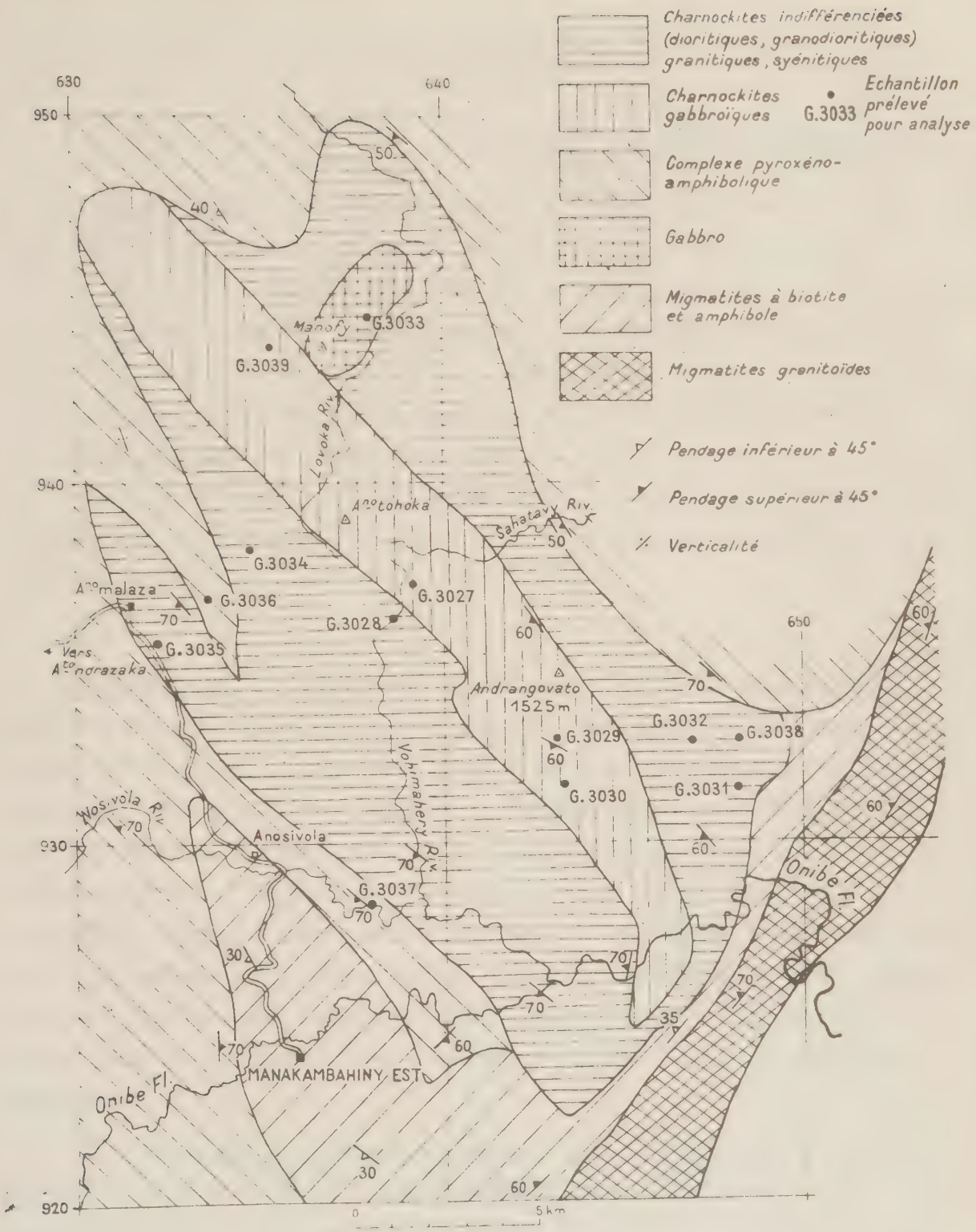
Ces charnockites sont localisées dans les migmatites et les gneiss à graphite du Système du Graphite du centre de Madagascar. L'âge de ces formations est rattaché par H.BESAIRIE[1] au cycle de 2.600 MA qui correspond à l'orogenèse majeure ayant affecté les formations sédimentaires des vieux Systèmes Androyen, Graphite et Vohibory.

Ce résultat nous indique que dans le Massif de Soavinandriana-Betafo, la charnockitisation est postérieure au métamorphisme régional.

---

(1). In H.BESAIRIE, 1963 : La géochronologie à Madagascar en 1962 (comptes rendus de la Semaine géologique 1963 - Annales géologiques de Madagascar. Fasc.nºXXXIII - Tananarive).

L'attribution par H.BESAIRIE de l'âge du métamorphisme ayant affecté les formations du Système du Graphite, résulte d'une mesure géochronologique effectuée selon la méthode des isotopes du plomb sur une monazite provenant de la région d'Antsirabe par W.C.ERICKSON et J.HOFFMAN (Labo A.O.Nier). Cette mesure a donné un âge de 2.420 MA. Du fait de pertes de Plomb, H.BESAIRIE considère que cet âge est trop jeune et le reporte à 2.600 MA.



CHARNOCKITES MANAKAMBAHINY-EST

14

A RAZAFINIPARANY Fév 1964

Chapitre II

LE MASSIF DE MANAKAMBAHINY-EST

A.- LOCALISATION.- La région étudiée présente un massif grossièrement elliptique, allongé NW-SE, situé à 40 kilomètres au NE de la ville d'Ambatondrazaka et à 30 kilomètres à l'Est du lac Alaotra. Elle est localisée dans la surface délimitée par les méridiens 630 et 650 et les parallèles 920 et 950 (coordonnées LABORDE). Le massif s'allonge sur environ 30 kilomètres et 10 kilomètres environ de large. Il est à cheval sur deux feuilles de la carte topographique au 1/100.000 du Service Géographique : Vohimenakely (T.43) au Nord et Manakambahiny-Est (T.44) au Sud.

B.- HISTORIQUE.- Avant 1949, la région du Lac Alaotra était surtout étudiée par les agronomes et très peu de documents géologiques importants étaient connus sur cette région. Il faut cependant réserver une mention spéciale aux notes de A.LACROIX sur les abords de la cuvette du Lac Alaotra, publiées dans sa "Minéralogie de Madagascar", Tome I, p.31. Dans cette note, A.LACROIX signale dans cette région, la présence d'orthogneiss fort peu micacés (leptynite) et parfois amphiboliques ou grenatifères, ainsi que d'importantes intrusions et des dykes de roches éruptives (diorites, gabbros, norites, microbronzitites, microgabbros).

C'est en 1949 que le premier lever géologique fut effectué dans cette zone, par P.BRENON. Les résultats de ces travaux furent publiés dans le TBG nº8 "Etude de la région du Lac Alaotra". La première carte géologique sortit de l'impression en 1950. Il s'agit de la coupure spéciale "Lac Alaotra" au

1/200.000 en 2 couleurs. Dans cette étude, P.BRENON indique que le vieux socle montre surtout un "faciès de migmatites schisteuses, amphiboloschisteuses, parfois amphiboliques". Cet auteur souligne que l'intérêt de la feuille levée réside dans les variations des roches éruptives basiques et le développement du faciès malgachitique (charnockites). En 1952, il reprend les données de ce lever dans sa thèse sur la "Contribution à l'étude pétrographique et géologique des Terrains cristallins de Madagascar dans les régions de l'Antsihanaka et de l'Antanosimboahangy (Hauts-Plateaux)", où il parle d'un vaste complexe pyroxénique comportant d'importantes masses de malgachites dioritiques ou gabbroïques, tantôt schisteuses, tantôt grenues, et des pointements de gabbros. De nombreuses descriptions détaillées d'échantillons de charnockites, de gabbros et de pyroxénites y sont données.

- En 1950, alors que P.BRENON continuait ses travaux sur le Lac Alaotra, R.LAUTEL procéda au lever géologique et à la prospection générale au 1/200.000 des feuilles Ambodilazana-Tamatave dont les résultats furent publiés dans le TBG nº97, et repris dans sa thèse sur l' "Etude géologique du socle cristallin de Madagascar à la latitude de Tamatave" (Thèse Clermont-Ferrand 1953). Cet auteur constate le prolongement dans le coin Nord-Ouest de la carte Ambodilazana, du massif malgachitique de Manakambahiny-Est cartographié dans le coin Sud-Est de la feuille Lac Alaotra par P.BRENON. Après avoir étudié la pétrographie de cet ensemble malgachitique, R.LAUTEL émit l'hypothèse que ces formations pourraient faire partie de l'ensemble du granite de Brickaville qui devient plus basique vers sa limite Ouest.

Une carte géologique en deux couleurs, au 1/200.000, en fut publiée en 1951.

- En 1951, J.AUROUZE entreprend l'étude géologique des feuilles Vavatenina-Fénérive dont les résultats sont publiés dans le TBG n°30. Une carte géologique au 1/200.000 en deux couleurs (Vavatenina 431 et Fénérive 432) en fut tirée et publiée en 1952. J.AUROUZE signale, dans la partie Ouest de sa zone de travail, la présence d'un complexe amphibolo-pyroxénique (complexe amphibolo-pyroxénique de l'Alaotra) qui se prolonge vers le Sud par des malgachites qui forment un massif important dans le bassin de la haute Lovoka (il s'agit là du massif charnockitique de Manakambahiny-Est).

Dans cette région, où embréchites, quartzites, gneiss, amphibolites et malgachites sont associés, cet auteur pense à une double origine, para et orthométamorphique pour cet ensemble.

- De 1959 à 1961, dans le cadre de travaux de prospection pour Nickel, Chrome et Platine, entrepris par le BRGM dans la région comprise entre Ivondro et Maningory, J.BOULANGER et M.BERTUCAT effectuent une étude géologique de cette zone. Deux cartes géologiques au 1/100.000 (une pour la partie au Nord du parallèle 660, l'autre pour la partie Sud) en furent établies. Dans le rapport de fin de mission, on peut lire : "Les charnockites sont représentées dans l'ensemble du groupe de l'Alaotra, sauf dans le synclinorium de l'Antetezambongo. Elles prennent leur plus grand développement dans le synclinal de l'Andranomena. Le grenat est présent partout associé aux roches des différentes séries. L'ensemble présente des caractères paramétamorphiques dominants".

- En 1962, dans le cadre de mes études générales sur les charnockites de Madagascar, j'entreprends l'étude détaillée du Massif charnockitique de Manakambahiny-Est.

- Enfin, le dernier lever géologique dans la région fut fait par G.HOTTIN en 1966. Il s'agit du lever au 1/100.000 de la feuille Vohimenakely. En même temps, des compléments de travaux furent effectués sur les feuilles au 1/100.000 Vavatenina et Fénérive. L'ensemble des résultats sont groupés dans le TBG n°126. Le but de ces travaux était, outre les objectifs de prospection générale, en particulier sur l'or de la région de Vavatenina, d'essayer d'éclaircir le problème des relations entre les différentes séries définies dans les régions internes de l'Alaotra et dans les régions côtières. Ces données furent reprises d'ailleurs par G.HOTTIN dans sa thèse sur les "Terrains cristallins du Centre-Nord et du Nord-Est de Madagascar" où il établit une synthèse des connaissances géologiques acquises dans ces régions avec une carte au 1/500.000 (Thèse Clermont-Ferrand 1969).

C.- GISEMENT.- Je me suis surtout attaché à l'étude détaillée du massif charnockitique de Manakambahiny-Est et de ses relations avec les formations qui l'enveloppent. Pour situer ce massif dans le contexte régional, je vais donc utiliser les résultats obtenus par les différents auteurs qui ont travaillé dans la région.

Le fond géologique de la région, rattaché à la série de l'Alaotra, est constitué par un ensemble pyroxéno-amphibolique à intercalations gneissiques et quartzitiques et présentant d'importants noyaux gabbroïques. Il s'agit d'un ensemble plissé qui se moule sur des masses granitiques, apparaissant généralement en position anticlinale, entre lesquelles les formations pyroxéno-amphiboliques semblent coincées dans des replis synclinaux ou synclinoriaux, replis larges lorsque le fond est oc-

cupé par de grandes masses gabbroïques (Ankitsika, Mangiaka, Tsiakaranandevo), ou étroits, présentant alors des lentilles allongées de formations gabbroïques. Cet ensemble passe en dessous à des formations migmatitiques à biotite, amphibole, ainsi qu'à des leptynites et gneiss à graphite. C'est dans un de ces replis synclinaux qu'est localisé le massif de Manakambahiny-Est.

Ce massif est constitué par un ensemble charnockitique, de texture généralement gneissique, orienté NW-SE, et qui comporte des termes basiques gabbroïques, des termes intermédiaires dioritiques, syénitiques, granodioritiques et des termes acides granitiques et parfois même essentiellement quartziques. Le grenat est présent et abondant en beaucoup d'endroits. Les termes gabbroïques occupent l'axe du massif. Tout autour se trouvent les termes dioritiques qui sont intimement associés aux types granodioritiques et granitiques. Les termes essentiellement quartziques et les termes syénitiques constituent des bancs concordants à l'intérieur du massif. A cet ensemble charnockitique sont associés des pyroxénites, des gabbros grenus ou peu orientés et des formations pyroxéno-amphiboliques à grenat.

D.- <u>PETROGRAPHIE</u>.- I.- LES ENVELOPPES.- L'étude précédente du gisement nous a montré que le massif de Manakambahiny-Est est enveloppé par un complexe pyroxéno-amphibolique comportant des pyroxénites, des amphibolites, des gneiss à pyroxène et amphibole, avec intercalations de quartzites parfois à magnétite et passant à la base à des migmatites à biotite, amphibole et grenat.

Nous savons qu'au Nord de la zone étudiée, ces formations pyroxéno-amphiboliques enveloppent des noyaux gabbroïques, et qu'il y a un passage progressif de l'intérieur vers la périphérie, du gabbro à olivine équant avec différenciations pyroxénolitiques au gabbro orienté à hornblende, puis à la pyroxéno-amphibolite.

Ces relations indiquent que beaucoup de formations pyroxéno-amphiboliques sont d'origine orthométamorphique. Cependant, la présence d'intercalations de quartzites à magnétite et de gneiss à niveaux graphiteux amène à penser à une origine paramétamorphique pour certaines d'entre elles. C'est le cas en particulier pour la région de Manakambahiny-Est où, bien que l'on ne voie plus de gabbro à olivine, il y a lieu d'admettre une origine mixte.

Pour mieux situer le problème des charnockites de Manakambahiny-Est, nous avons estimé intéressant d'avoir un aperçu général de la pétrographie de ces roches basiques en complétant nos propres observations par celles de nos différents prédécesseurs.

1º- Les gabbros.- Dans le centre des massifs, ils sont généralement grenus, à olivine et à cristaux de feldspath violacés. Leur composition minéralogique est la suivante : labrador - augite - hornblende verte - olivine - accessoirement magnétite. L'olivine présente parfois au contact de plagioclase, deux auréoles concentriques réactionnelles (une auréole interne constituée par de l'hypersthène et une autre externe en hornblende verte). L'hypersthène apparaît localement ; il en est de même de la hornblende brune.

Ces gabbros à olivine présentent par endroits, des différenciations en pyroxénolites, roches essentiellement constituées d'hypersthène et d'augite.

Vers les bordures des massifs, les gabbros ont une texture orientée, parfois même schisteuse ; pas d'olivine. Minéralogiquement, ces types sont composés de plagioclase basique, diallage, hypersthène, diopside. L'augite est rarement présente ; la structure, granoblastique, souvent cataclastique.

Les gabbros orientés passent à des orthopyroxénites ou des orthoamphibolites suivant l'importance relative des pyroxènes et de la hornblende. Cependant, nous savons qu'en d'autres endroits, l'on ne voit plus de trace de gabbro à olivine (dans la région de Manakambahiny-Est par exemple), et pyroxénites et amphibolites peuvent être d'origine paramétamorphique.

Dans les deux cas, il y a mêmes conditions de métamorphisme et les associations minérales sont les mêmes. C'est pourquoi nous ne ferons pas de distinction d'origine pour les pyroxénites et les amphibolites.

2º- Les amphibolites.- La roche est très foncée, orientée, parfois rubanée. L'étude des lames minces donne la composition minéralogique suivante : labrador, hornblende abondante, diopside-hédenbergite, pyroxène ouralitisé, accessoirement apatite et magnétite. Le grenat est parfois présent. La structure est granoblastique.

3º- Les pyroxénites.- La roche est généralement noire, orientée, à grain moyen, à feldspath blanc et très riche en ferromagnésiens. L'étude microscopique montre : labrador, hypersthène, diopside-hédenbergite, hornblende verte peu abondante, grenat

(parfois abondant), accessoirement magnétite et apatite. La structure est granoblastique.

4º- Les gneiss à biotite et amphibole.- Il s'agit là de roche orientée, parfois même rubanée, à grain généralement moyen et souvent associée sur le terrain à des bancs d'amphibolites. L'étude des lames minces au microscope polarisant indique la composition suivante : quartz - oligoclase - hornblende - biotite (plus ou moins rare) - accessoirement apatite. La structure est granoblastique, mais à tendance hétéroblastique par suite de l'apparition de grandes plages de quartz.

5º- Les quartzites.- Ils se présentent en bancs de dimension variable, jamais importants. Les grains de quartz sont généralement bien cristallisés. La magnétite est très fréquente mais en petite quantité. Parfois, on signale la présence de la sillimanite.

6º- Les migmatites.- Le complexe amphibolo-pyroxénique passe à sa base à des formations migmatitiques. Dans la région étudiée, ces migmatites affleurent au Sud du Massif charnockitique de Manakambahiny-Est avec un pendage plongeant sous ce massif. La roche moyenne comporte du quartz, plagioclase acide (oligoclase), microcline parfois perthitique, myrmékite, biotite, hornblende. La structure est hétéroblastique.

Ces migmatites passent à des migmatites granitoïdes très leucocrates dont la composition moyenne est : quartz, porphyroblastes de microcline, oligoclase, myrmékite, biotite. Structure porphyroblastique. En certains endroits, il y a intercalations de leptynites et gneiss à grenat et graphite.

II.- LES CHARNOCKITES.- Nous avons remarqué au cours de l'étude pétrographique précédente, que la plupart des roches du complexe amphibolo-pyroxénique renfermaient de l'hypersthène. Est-ce à dire que ces pyroxénites à hornblende et hypersthène et ces amphibolites à hypersthène et diopside-hédenbergite puissent être considérées comme des charnockites ? Ou bien, d'une façon plus générale, est-ce que toutes les roches à hypersthène peuvent être classées dans la catégorie des charnockites ? HOLLAND avait créé le terme de charnockite pour désigner un type de granite à hypersthène. Puis il l'avait étendu au terme de série charnockitique pour définir un ensemble de roches liées génétiquement entre elles et comportant des membres allant de types ultrabasiques (pyroxénites) à des types basiques (gabbros), intermédiaires (diorites, syénites) et acides (granites). Actuellement, une certaine confusion est née sur l'utilisation du terme "charnockite", du fait même de l'extension que HOLLAND avait donnée à sa signification originale. Maintenant on généralise, et on parle couramment de "charnockites" basiques, intermédiaires et acides. Aussi, je pense que je dois repréciser dans quel sens j'utilise ce terme.

Dans cet ouvrage, le mot "charnockite" s'applique :

1º) Soit à une roche ayant la composition d'un granite ou d'une granodiorite à hypersthène.

2º) Soit à une roche faisant partie d'une série de formations liées entre elles et comportant des termes ayant la composition d'une pyroxénite, d'un gabbro, d'une diorite, d'une granodiorite, d'un granite et d'une syénite. Je désigne ces différents termes par charnockites gabbroïques, charnockites dioritiques, granodioritiques, granitiques et syénitiques.

Dans le cas du complexe amphibolo-pyroxénique mentionné ci-dessus, nous n'avons que des termes basiques à hypersthène. Le terme de charnockite ne peut donc pas être appliqué à ces roches.

Remarque : Un des guides que nous avons utilisés sur le terrain lors de nos études était la coloration malgachitique jaune miel du feldspath en surface ou bien bleu-vert sur cassure fraîche. Dans le cas des roches gabbroïques et amphibolo-pyroxéniques précédentes, à hypersthène, le feldspath est généralement de couleur violacée à noire.

1º- Les charnockites gabbroïques.- Ce sont des roches noires orientées, à quartz foncé parfois bleuté, à feldspath vert-jaune à brun-jaune ou encore brun foncé et à ferromagnésiens assez abondants, en cristaux petits ou moyens. Le grenat, quand il existe, se présente en petits cristaux disséminés dans la roche. Ces charnockites gabbroïques peuvent être litées ou rubanées. Leur composition minéralogique moyenne est la suivante : quartz, andésine-labrador, hypersthène présentant un pléochroïsme vert clair à rose, diopside-hédenbergite, apatite, magnétite, zircon rare. La structure est granoblastique. Par endroits, les cristaux d'hypersthène ayant un pléochroïsme net vert à rose présentent une extinction oblique pouvant atteindre 45º. Les cristaux de pyroxène sont quelquefois ouralitisés. Le grenat est assez fréquent. En d'autres cas, la structure est hétéroblastique du fait de la présence de porphyroblastes de quartz, ce qui témoigne un apport de silice notable.

2º- Les charnockites dioritiques.- Ce sont des roches orientées, parfois rubanées à grain moyen, présentant du quartz, du feldspath vert-jaune et de petits cristaux noirs de ferromagnésiens.

Ces roches sont foncées quoique plus leucocrates que les types gabbroïques. Ceci est dû surtout à la coloration des éléments blancs. Les ferromagnésiens sont beaucoup moins abondants que dans les types gabbroïques. Leur composition moyenne déterminée par l'étude des lames minces au microscope est la suivante : quartz, oligoclase-andésine, hypersthène vert clair à rose, diopside-hédenbergite (certains cristaux de pyroxène sont ouralitisés), un peu de hornblende, apatite, magnétite. La structure est hétéroblastique. On note la présence de porphyroblastes de quartz. Le grenat est abondant en beaucoup d'endroits. La hornblende n'existe pas partout. Par contre, on peut noter dans certains échantillons la présence d'une biotite brun foncé, principalement dans les faciès très riches en grenat. Parfois les charnockites dioritiques passent à des types granodioritiques par suite de l'apparition d'un peu d'orthose.

3º- Les charnockites granitiques.- Leur extension est très localisée. Ce sont des roches orientées, parfois même litées, à grain plutôt fin, présentant en certains endroits de gros cristaux de feldspath vert ou vert-jaune. Elles ont une coloration foncée bien qu'elles soient nettement leucocrates. A l'affleurement, ces roches présentent une croûte externe de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, d'abord brun-jaune, puis superficiellement blanchâtre nettement décolorée. L'étude des lames minces au microscope donne la composition minéralogique suivante : quartz, orthose perthitique, oligoclase, myrmékite, hypersthène, hornblende, biotite peu abondante, apatite, magnétite. La structure est hétéroblastique. On note la présence de porphyroblastes de quartz et d'orthose.

4º- Les charnockites quartziques.- Ce sont des roches noires à grain hétérogène, composées essentiellement de quartz de colora-

tion foncée avec du grenat abondant et un peu de ferromagnésiens. L'étude microscopique montre : quartz constituant la majeure partie de la roche, grenat abondant, hypersthène vert clair à rose, apatite, magnétite. La structure est hétéroblastique. On remarque la présence de porphyroblastes de quartz.

5º- Les charnockites syénitiques.- Les charnockites dioritiques passent parfois à des formations gneissiques de composition syénitique. Il s'agit de roches noires, orientées, à grain hétérogène, présentant de gros feldspaths noirs. Leur composition minéralogique moyenne est : orthose microperthitique, oligoclase, myrmékite, hypersthène, diopside-hédenbergite, un peu de hornblende, biotite en cristaux automorphes recoupant les cristaux de pyroxène, apatite, magnétite. La structure est hétéroblastique (présence de porphyroblastes d'orthose). Dans certains échantillons, il existe du quartz rare en petits cristaux.

III.- LES ROCHES BASIQUES ASSOCIEES AUX CHARNOCKITES.- Les charnockites de la région de Manakambahiny-Est sont associées à des gabbros, à des pyroxénites et des amphibolites à grenat.

1º- Les gabbros.- Ils se présentent généralement en nodules au sein des charnockites. Leur extension est généralement limitée (de l'ordre du mètre), sauf à l'extrémité Nord du massif où ils constituent le mont Manofy.

Ce sont des roches noires, massives, grenues, de texture non orientée ou très peu. Elles présentent des feldspaths blancs ou légèrement violacés et d'abondants cristaux noirs de ferromagnésiens. Du point de vue nature pétrographique, ce sont des norites dont la composition moyenne est la suivante : andésine-labrador, hypersthène, apatite, magnétite. La structure est grenue.

2º- Les pyroxénites.- Ce sont des roches noires orientées, à feldspath blanc et cristaux noirs de ferromagnésiens abondants. Leur composition minéralogique moyenne est : andésine-labrador, diopside-hédenbergite, hornblende, apatite, magnétite. La structure est granoblastique. Le grenat est parfois présent et en abondance. On remarque dans ces pyroxénites la présence constante de la hornblende.

3º- Les amphibolites.- Ce sont des amphibolites à pyroxène. Il s'agit de roches noires massives, orientées, caractérisées par la présence de très nombreux cristaux aciculaires d'amphibole. Le grenat est généralement abondant. L'étude microscopique indique : labrador, hornblende en cristaux bien développés parfois automorphes, parfois envahissant les pyroxènes, pyroxènes monocliniques ouralitisés (ces pyroxènes semblent résiduels ; on constate en effet des cristaux dont le centre est constitué par du diopside et les bordures par de la hornblende), grenat abondant. La structure est granoblastique. Certaines amphibolites présentent un peu d'hypersthène.

IV.- RELATION DES CHARNOCKITES AVEC LES ROCHES BASIQUES ASSOCIEES.- L'absence de carrière et la présence d'un épais recouvrement de sol ne permettent pas de voir sur le terrain les relations entre les charnockites et les différentes roches qui leur sont associées. Même dans les bed-rocks des fonds de rivière où les affleurements sont les plus favorables, la présence d'une croûte d'altération blanchâtre ou jaunâtre de 2 centimètres environ d'épaisseur, empêche toute observation directe. Il ne nous a pas été possible non plus de voir sur le terrain les relations entre gabbros et pyroxéno-amphibolites. Mais on peut penser que ces formations font partie d'un même ensemble amphi-

bolo-pyroxénique où les gabbros grenus ou peu orientés sont des résidus non ou peu transformés. Le tableau ci-dessous permet de comparer les compositions minéralogiques des charnockites avec celles des roches basiques.

	Roches basiques associées	Charnockites basiques	Charnockites acides granitiques	Charnockites syénitiques
quartz	sans	oui	oui	sans
Plagioclase	Labrador	Andésine	Oligoclase	Oligoclase
pyroxène	diopside-hédenbergite hypersthène	diopside-hédenbergite hypersthène	diopside-hédenbergite hypersthène	diopside-hédenbergite abondant hypersthène
amphibole	hornblende brune	hornblende brune	hornblende brune peu abondante	hornblende brune peu abondante
autres minéraux	grenat abondant	grenat	grenat rare orthose biotite	biotite orthose abondant

Par rapport aux roches basiques associées, on constate que : dans les charnockites basiques, il y a apparition de quartz tandis que le plagioclase est plus acide. Dans les charnockites granitiques, le plagioclase est encore plus acide et l'on voit apparaître l'orthose et un peu de biotite. Les ferromagnésiens sont moins abondants. Jusque-là on peut admettre un apport de silice et d'alcalin, et départ de ferromagnésiens (granitisation). Dans les charnockites syénitiques, il n'y a plus de quartz, l'orthose devient abondant, de même pour la biotite. Par contre, amphibole et pyroxène régressent nettement. Il y a lieu de penser ici à une métasomatose tardive.

V.- CONCLUSION.- L'étude du massif charnockitique de Manakambahiny-Est (gisement et pétrographie) semble montrer :

a) que l'on passe progressivement des roches basiques à composition gabbroïque aux charnockites basiques puis acides granitiques par une granitisation ;

b) que cette granitisation fut suivie localement par une métasomatose tardive ayant abouti aux charnockites syénitiques ;

c) que les roches associées aux charnockites sont les mêmes que celles du complexe amphibolo-pyroxénique de l'Alaotra. Le massif de Manakambahiny-Est fait donc partie intégrante de ce complexe.

E.- AGE DU MASSIF.- De récentes mesures géochronologiques isochrones(1), par la méthode au Rubidium-Strontium sur roche totale dans cette série charnockitique, ont donné un âge de 2.756 ± 537 MA. Certes, les marges d'erreurs de ce résultat sont assez fortes, mais celui-ci donne cependant une bonne idée de l'âge approximatif de ces formations. Cet âge s'accorde avec l'orogenèse majeure de 2.600 MA définie par H.BESAIRIE, comme étant le grand phénomène géologique qui a affecté les formations sédimentaires des vieux systèmes Androyen, Graphite et Vohibory. L'âge Plomb-alpha sur Zircon de 2.712 MA des migmatites de Beforona concorde bien avec ces résultats récents, ce qui confirme

---

(1). Ces mesures ont été effectuées en 1969 au Laboratoire associé de géochronologie CNRS et Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, par Madame M.VACHETTE, sur des échantillons de A.RAZAFINIPARANY.

l'appartenance de la Série charnockitique de Manakambahiny-Est au groupe de Beforona-Alaotra, défini antérieurement et reconnu par tous les auteurs ayant travaillé dans la région.

Ce résultat montre également que la différenciation charnockitique qui apparaît localement au sein du complexe amphibolo-pyroxénique de l'Alaotra s'est produite au cours de cette orogenèse majeure qui a affecté tout l'ensemble.

F.- CARACTERES CHIMIQUES.- 13 échantillons ont été analysés au Laboratoire d'Analyses Minérales et d'Essais Industriels de la Direction des Mines et de l'Energie de Tananarive. Les situations des points de prélèvement de ces échantillons sont portées sur l'esquisse géologique de la planche nº14. Il est donné à la suite :

1º) un tableau groupant les résultats des analyses pondérales avec les valeurs des paramètres LACROIX ainsi que des paramètres de NIGGLI;

2º) un tableau montrant les pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA;

3º) un diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs de K + Na.

I.- REMARQUES GENERALES.- Les analyses que nous avons effectuées se rapportent surtout au massif de Manakambahiny. Etant donné l'intérêt qu'il y a à situer les charnockites de cette zone dans le contexte géologique de la série amphibolo-pyroxénique de l'Alaotra et des migmatites à amphibole directement sous-jacentes, nous avons estimé nécessaire de compléter les données chimiques par les résultats de quelques analyses présentées par

A.LACROIX sur les gabbros, les orthoamphibolites et les orthopyroxénites, et par G.HOTTIN sur les migmatites à biotite et amphibole de la feuille Vohimenakely.

1º- Gabbros.- Nous donnons ici 3 analyses :

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	H_2O+	H_2O-	Total
(a)	47,22	7,08	4,78	7,61	18,61	11,74	1,19	0,37	1,01	0,18	0,56	0,48	100,61
(b)	49,22	8,14	3,94	5,58	13,51	10,46	1,74	0,31	1,97	0,06	0,14	0,24	100,31
(c)	48,40	8,66	0,95	10,12	14,59	14,59	0,54	0,14	1,60	0,07	0,31	0,13	100,20

(a) = gabbro mélanocrate à olivine, hypersthène et diallage. Ambohimanga - IV.5(3)4.4 - A.LACROIX T.II p.423.

(b) = gabbro mélanocrate à hypersthène, diallage. Amboavony - IV.4(5).(3)4.4(5) - A.LACROIX T.II, p.423.

(c) = diallagite (diallage dominant, rares plages d'hypersthène et de plagioclases basiques). Ankitsika - IV.6.(4)5.(4)5 A.LACROIX T.II, p.424.

2º- Orthoamphibolopyroxénites.- Nous donnons également ici 3 analyses :

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	H_2O+	H_2O-	Total
(a)	48,34	13,06	7,14	7,71	10,08	9,42	1,84	0,25	1,03	0,18	1,19	0,15	100,74
(b)	47,57	13,07	5,58	8,48	8,00	11,88	2,51	0,63	1,58	0,49	0,15	0,09	100,03
(c)	47,36	7,05	4,72	9,11	13,91	14,27	0,72	0,14	1,89	0,10	0,51	0,10	99,88

(a) = Orthopyroxénite feldspathique dérivant de gabbro à augite et hypersthène. Vodivato au Nord du lac Alaotra - III.'5.4.'4 - A.LACROIX T.II, p.514.

(b) = Orthopyroxénite feldspathique à olivine, augite et hornblende brune. Entre Anony et Ambatomainty - III.5.(3)4.4 - A.LACROIX T.II, p.514.

(c) = Orthoamphibolite à hornblende et diopside dérivant de la diallagite du Mont Ankitsika (cf. analyse page précédente) - A.LACROIX T.II, p.452.

3º- Migmatites et leptynites.- Nous avons relevé 4 analyses effectuées au CRPG de Nancy sur des échantillons collectés par G.HOTTIN :

Nºs	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3 total	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Perte au feu	Total	Fe_2O_3 (1)	FeO (2)
X.5766	69,70	13,80	5,14	0,06	0,25	1,94	2,84	6,04	0,52	0,15	100,44	0,44	4,7
X.5747	62,90	15,20	7,83	0,14	0,99	3,49	3,54	4,84	1,22	0,21	100,36	1,03	6,8
X.5935	64,00	15,40	8,30	0,12	0,45	3,45	2,90	4,95	0,94	0,03	100,54	1,80	6,5
X.6001	71,40	13,25	3,74	0,06	0,05	1,79	2,74	5,94	0,43	0,07	99,47	1,14	2,6

* X.5766 = Migmatite à amphibole et grenat. Rivière Ivolo, à 1,7 km WNW Ambodimanga - Feuille Vohimenakely (T.43).

X.5747 = Migmatite à amphibole et grenat. Rive gauche Maningory, 800 m W Ambodipaiso - Feuille Vohimenakely (T.43).

---

(1) et (2) : Les analyses précédentes ont été faites au quantomètre. Les mesures des pourcentages en poids de Fe_2O_3 et FeO ont été effectuées au Laboratoire d'Analyses Minérales et d'Essais Industriels de la Direction des Mines de Tananarive.

* Référence : "Les Terrains cristallins du Centre-Nord et du Nord-Est de Madagascar" par G.HOTTIN - Thèse Clermont-Ferrand 1969, p.248.

X.5935 = Migmatite leptynitique à amphibole et grenat. Piste Ambodiriana-Manambato - Feuille Vohimenakely (T.43).

X.6001 = Leptynite à amphibole et grenat. 1,1 km SSE Vohimanitra - Feuille Vohimenakely (T.43).

4º- Enfin, nous présentons ici à titre comparatif, quelques analyses de charnockites, données par A.LACROIX.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	H_2O+	H_2O-	Total
(a)	68,86	14,09	2,12	2,33	2,06	3,26	2,75	3,53	0,38	0,04	0,49	0,05	99,96
(b)	57,82	10,84	5,92	4,81	7,08	8,46	2,65	1,32	0,61	0,37	0,19	0,09	100,16
(c)	55,44	16,98	4,05	5,52	3,61	8,68	2,93	0,8	1,59	0,11	0,67	0,13	100,29

(a) = Charnockite granitique : Granite monzonitique leucocrate. SE Ambohibololona (S.Andilanatoby), à quartz - orthose - oligoclase - hypersthène - biotite - I(II).'4.'3.3 - A.LACROIX T.II, p.235.

(b) = Charnockite dioritique : Diorite quartzique (Vohitsara), à quartz - andésine - hypersthène - hornblende - 'III,4,3,4 - A.LACROIX T.II, p.242.

(c) = Charnockite gabbroïque : Gabbro quartzique (Andreba), à quartz - labrador et hypersthène - II,4,'4,(4)5 - A.LACROIX T.II, p.243.

II.- INTERPRETATION.- L'examen des différentes analyses amène aux constatations suivantes :

a) Les résultats des analyses des gabbros et des ortho-amphibolopyroxénites de LACROIX sont comparables, ce qui confirme leurs relations directes.

b) Une analyse d'amphibolopyroxénite du massif de Manakambahiny-Est (N°14) et une autre (N°15) relative à un échantillon de gabbro associé aux charnockites de ce massif (roche à l'état résiduel, donc ayant déjà subi une forte transformation la rapprochant des amphibolopyroxénites) sont comparables à celles des ortho-amphibolopyroxénites de LACROIX ; leur origine est donc probablement ortho. Par contre, une autre analyse d'amphibolopyroxénite (N°23) se distingue des précédentes par une forte teneur en P_2O_5 et CaO. Cette roche est donc probablement para. Il y a lieu de remarquer cependant que cette roche fait partie de l'enveloppe et non du massif charnockitique.

c) Les charnockites relatives aux analyses de A.LACROIX sont associées à des gabbros, c'est-à-dire ortho. D'après les résultats de nos analyses, les charnockites du massif de Manakambahiny sont comparables à celles de LACROIX.

d) Comparées aux amphibolopyroxénites, les charnockites basiques (gabbroïques) sont plus riches en SiO_2 et en alcalins (K_2O et Na_2O). Ceci souligne le rôle de la métasomatose alcaline dans la charnockitisation.

D'autre part, comparées aux migmatites à hornblende, les charnockites granitique et syénitique sont nettement plus riches en FeO. Ce caractère, déjà observé précédemment sur Soavinandriana-Betafo, souligne encore une fois le rôle que joue le fer ferreux dans le faciès charnockitique, rôle qui a été déjà mis en évidence par quelques auteurs dans l'étude de la coloration des feldspaths charnockitiques.

e) L'examen des analyses chimiques montre qu'en classant les différentes roches comme dans le cas du massif de Soavinandriana-Betafo, c'est-à-dire selon la classification suivante : pyroxénoamphibolite-gabbro-charnockites gabbroïque, dioritique,

granitique, syénitique, on observe une variation constante et croissante de la somme des valeurs des alcalins (K+Na). J'ai donc établi un diagramme des variations des pourcentages en cations (calculés selon la méthode ESKOLA) en fonction de K+Na. Ce diagramme montre que :

1º) il y a une croissance de Si jusqu'aux charnockites granitiques puis Si décroît jusqu'aux charnockites syénitiques ;

2º) Al croît légèrement puis décroît nettement un peu avant la zone granitique (dans la zone dioritique) ;

3º) Ca décroît régulièrement ainsi que Fe^{++} ;

4º) Fe^{+++} est presque constante ;

5º) Mg présente une variation symétrique à celle de Al. Tout d'abord, il décroît puis croît nettement un peu avant la zone granitique (dans la zone dioritique).

Dans ce diagramme, seuls les points représentant l'analyse d'une pyroxéno-amphibolite de l'enveloppe sortent nettement des courbes de variation.

Ce diagramme semble montrer, comme dans le cas de Soavinandriana-Betafo, que la charnockitisation comprend deux phases. Ce sont d'abord une granitisation à partir des pyroxéno-amphibolites et des gabbros (apport de Si, Na et K, départ de Fe, Mg et Ca), puis une métasomatose alcaline tardive.

Cette deuxième phase est nettement différente de celle de la région de Soavinandriana. Alors que dans ce dernier cas, cette métasomatose se traduit par une feldspathisation (apport de K, Na et Al, départ de Si, Fe, Mg et Ca), ici par contre l'on constate une diminution de Al, Si et Ca et une augmentation de Mg. Fe^{++} et Fe^{+++} varient très peu. Ceci se traduit par l'apparition de la biotite dans la roche.

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE MANAKAMBAHINY-EST

TABLEAU DES ANALYSES CHIMIQUES

N°.....	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
INDICATIF ..	G.3030(1)	G.3033	G.3028	G.3037	G.3029	G.3027	G.3032	G.3034	G.3031	G.3036	G.3038	G.3035
SiO_2	46,50	48,30	57,50	59,20	55,00	57,00	51,00	61,50	64,80	46,00	61,66	56,30
Al_2O_3	15,40	15,30	17,10	15,10	17,30	11,30	20,70	13,90	13,70	13,00	12,30	8,50
Fe_2O_3	1,40	3,70	0,80	3,15	2,00	2,50	2,30	traces	2,10	3,0	2,35	3,50
FeO	10,75	11,80	8,75	3,80	7,15	5,15	6,10	4,95	3,60	11,05	3,70	6,45
MgO	9,00	4,50	5,10	4,90	2,90	8,30	4,70	7,80	2,70	0,90	5,80	7,30
CaO	11,30	10,10	4,00	7,15	7,50	7,30	6,70	3,70	4,90	14,00	5,70	5,90
Na_2O	1,90	2,15	2,40	3,45	4,10	4,30	3,05	3,25	4,80	5,30	5,15	4,30
K_2O	0,25	0,35	0,70	1,00	0,30	0,30	2,70	2,50	1,10	0,38	1,20	3,85
TiO_2	0,90	1,20	0,80	0,90	0,90	1,30	0,60	0,90	0,50	0,43	0,80	1,00
P_2O_5	0,35	0,47	0,27	0,65	0,32	0,55	0,75	0,45	0,42	2,00	0,47	1,00
MnO	0,28	0,17	0,11	0,07	0,24	0,13	0,09	0,08	0,05	0,55	-	0,13
H_2O+	1,80	0,50	1,30	0,60	1,30	0,70	1,00	0,60	0,60	2,10	0,60	1,10
H_2O-	0,15	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,15	0,15	0,15	0,20	0,10	0,20
Total	99,98	98,64	98,93	100,07	99,21	98,93	99,84	99,78	99,42	98,91	99,83	99,53
Analyste(2)	Rz	Rz	Rz	R	Rz	Rz	Rz	Rz	Rz	Rz	R	Rz
Date	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964
C.I.P.W. ...	III,5,4,'5	III,5,4,(4)5	II,4,(3)4, 4(5)	II,4,3,4'	II,(4)5,3',5	'III,(4)5, 2(3),5	II,5,3',(3)4	II,4','3,'4	II,4,2',4(5)	III,6,2,5	II',4(5),2, 4(5)	III,5,1,(3)4
h	1'	'2		2	'2		'2	1	2		'2	1
k	2(3)	1		1	1		1	1	1		1	1
l	'2	'2		(1)2	(1)2		1	1	2		2	2
m	(2)3	3'		2	3'		'3	2	'3		2	2'
Niggli												
si	99,12	116,02	175,58	176,93	159,96	151,81	134,33	187,64	237,15	111,40	188,49	152,16
al	19,31	21,62	30,72	26,54	29,59	17,70	32,07	24,94	29,49	18,52	22,13	13,51
fm	50,61	46,84	47,74	38,66	34,93	49,87	36,70	48,49	31,72	32,14	41,57	51,51
alk	4,25	5,53	8,46	11,88	12,09	11,59	12,31	14,46	19,57	13,01	17,59	17,88
c	25,80	25,99	13,09	22,89	23,37	20,83	18,90	12,09	19,21	36,33	18,68	17,08
ti	1,438	2,162		2,017	1,963		1,185	2,059	1,372		1,835	2,027
k	0,079	0,096		0,160	0,046		0,368	0,336	0,131		0,133	0,371
mg	0,568	0,346		0,568	0,362		0,505	0,736	0,467		0,640	0,574
p	0,315	0,477		0,820	0,393		0,834	0,580	0,649		0,607	1,141

(1) Indicatif G = échantillon recueilli par A.RAZAFINIPARANY.

(2) Analystes : Rz = R.RAZAFINDRATANDRA R = P.RUF.

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE MANAKAMBAHINY-EST

Provenance des échantillons analysés

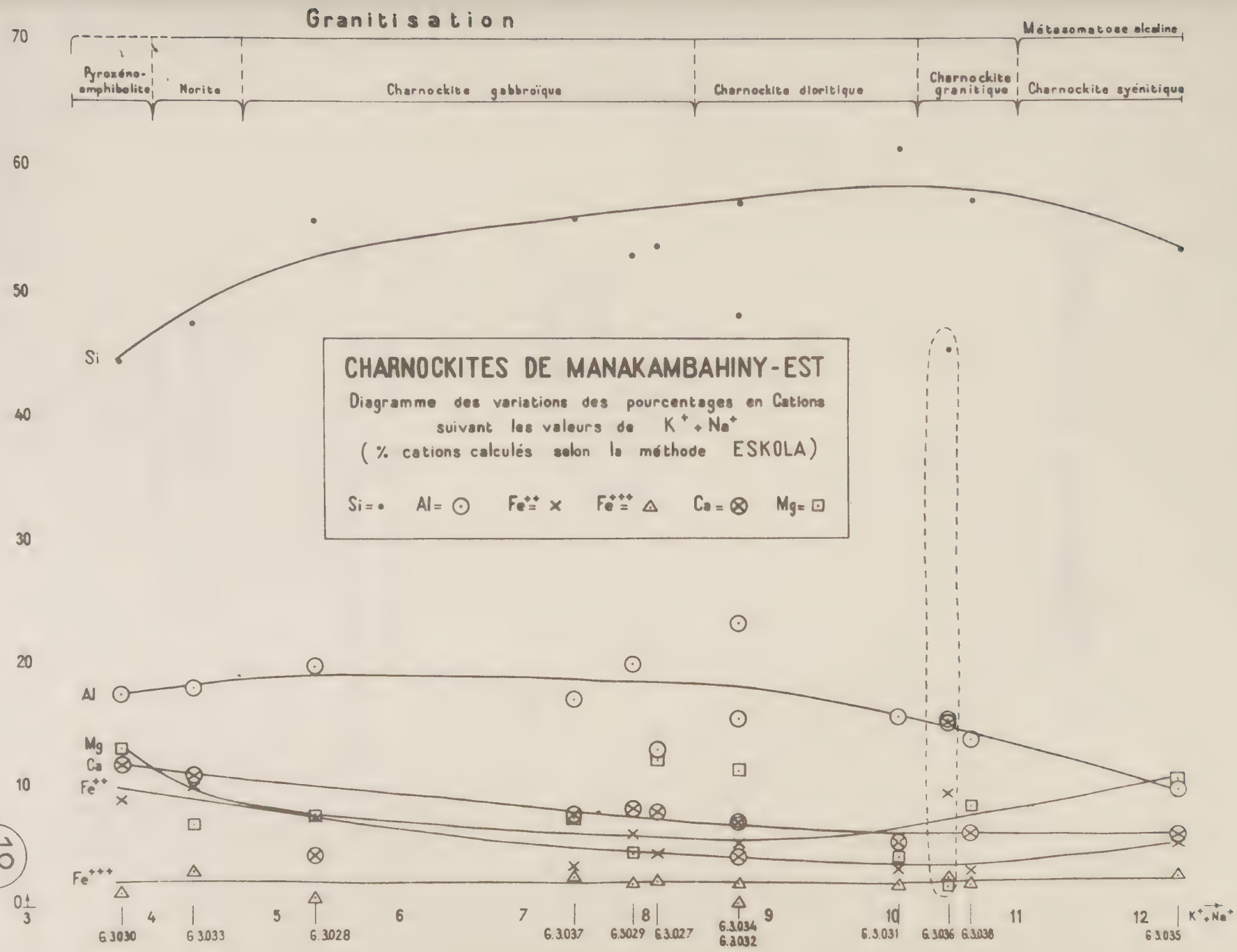
Nº	Indicatif	Détermination pétrographique	Provenance	Coordonnées géographiques LABORDE	
				X	Y
14	G.3030	Amphibolite à pyroxène et grenat	Sud point géodésique Andrangovalo (1525m)	932,000	643,150
15	G.3033	Gabbro associé aux charnockites (norite)	Mont Manofy au N.du village de Ranofotsy	944,300	638,200
16	G.3028	Charnockite gabbroïque à grenat	Vallée de la Vohimahery	936,300	638,625
17	G.3037	Gneiss	Vallée de la Nosivola à l'ESE du village Anosivola	928,400	637,675
18	G.3029	Charnockite gabbroïque à grenat	Sud point géodésique Andrangovalo (1525m)	932,650	642,900
19	G.3027	Charnockite gabbroïque	Vallée de la Vohimahery	936,875	639,200
20	G.3032	Charnockite dioritique	Nord village Antombana	932,200	647,500
21	G.3034	Charnockite dioritique à grenat	NNE village Andranomalaza	938,500	634,500
22	G.3031	Charnockite dioritique	Nord village Antombana	931,050	648,550
23	G.3036	Amphibolite à pyroxène et grenat	Est village Andranomalaza	936,475	633,425
24	G.3038	Charnockite granitique	Nord village Antombana	932,225	648,500
25	G.3035	Charnockite syénitique	1,300 km Sud Andranomalaza route Manakambahiny-Est	935,700	632,300

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE MANAKAMBAHINY-EST

Tableau des pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA

Nº	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Indicatif	G.3030	G.3033	G.3028	G.3037	G.3029	G.3027	G.3032	G.3034	G.3031	G.3036	G.3038	G.3035
Si	44,13	47,19	55,38	55,58	52,55	53,34	47,72	56,88	61,05	45,03	56,90	52,99
Al	17,20	17,58	19,42	16,68	19,51	12,46	22,80	15,09	15,15	14,93	13,41	9,38
Fe^{+++}	1,03	2,70	0,58	2,14	1,49	1,80	1,57	-	1,47	2,23	1,55	2,49
Fe^{++}	8,48	9,61	6,99	2,93	5,68	3,99	4,77	3,77	2,83	9,00	2,83	5,03
Mg	12,81	6,57	7,34	6,88	4,13	11,62	6,57	10,82	3,79	1,29	8,03	10,28
Ca	11,50	10,55	4,10	7,22	7,69	7,30	6,74	3,66	4,97	14,70	5,65	5,93
Na	3,53	3,98	4,51	6,20	7,57	7,75	5,50	5,77	8,70	10,00	9,20	7,80
K	0,23	0,35	0,81	1,24	0,34	0,34	3,26	3,00	1,36	0,47	1,44	4,52
Ti	0,63	0,88	0,58	0,62	0,63	0,90	0,45	0,61	0,34	0,29	0,55	0,73
P	0,23	0,47	0,23	0,45	0,23	0,45	0,56	0,33	0,34	1,65	0,44	0,79
OH	200	56	144	66	144	78	110	66	66	234	66	122
0/100 cations	152,33	156,74	163,64	162,57	160,07	158,00	156,82	161,15	165,18	151,15	160,28	154,69

17


Granitisation
Métasomatose alcaline
Pyroxéno-amphibolite
Norite
Charnockite gabbroïque
Charnockite dioritique
Charnockite granitique
Charnockite syénitique
CHARNOCKITES DE MANAKAMBAHINY-EST
Diagramme des variations des pourcentages en Cations suivant les valeurs de K⁺ + Na⁺
(% cations calculés selon la méthode ESKOLA)
Si = • Al = ⊙ Fe⁺⁺ = × Fe⁺⁺⁺ = △ Ca = ⊗ Mg = ⊡
Si
Al
Mg
Ca
Fe⁺⁺
Fe⁺⁺⁺
70
60
50
40
30
20
10
0
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
K⁺+Na⁺
6.3.030
6.3.033
6.3.028
6.3.037
6.3.029
6.3.027
6.3.034
6.3.032
6.3.031
6.3.036
6.3.038
6.3.035

18

CHARNOCKITES DE MANAKAMBAHINY-EST

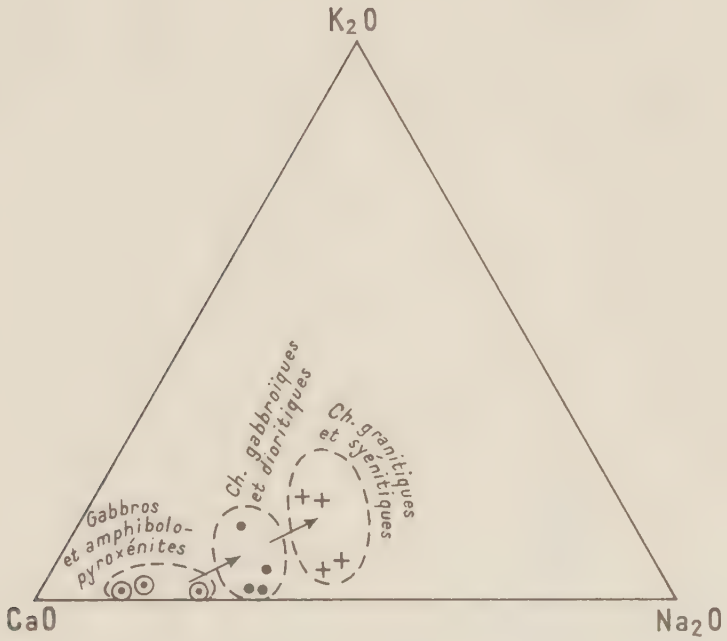


Diagramme $K_2O - Na_2O - CaO$, montrant la granitisation à partir des gabbros et amphibolo-pyroxénites

---

⊙ Gabbros et amphibolo-pyroxénites

• Charnockites gabbroïques et dioritiques

\+ Charnockites granitiques et syénitiques

CHARNOCKITES DE MANAKAMBAHINY-EST

Diagramme K_2O - Na_2O - CaO

Nº	N a t u r e	K_2O	Na_2O	CaO
G.3030	Amphibolite à pyroxène et grenat	1	13	86
3033	Gabbro associé aux charnockites	2	16	82
3028	Charnockite gabbroïque à grenat	6	33	61
3029	Charnockite gabbroïque	2	32	66
3027	Charnockite gabbroïque	2	34	64
3032	Charnockite dioritique	14	25	61
3034	Charnockite dioritique à grenat	18	36	46
3031	Charnockite dioritique	7	44	49
3038	Charnockite granitique	6	42	52
3035	Charnockite syénitique	19	32	49
3036	Amphibolite à pyroxène et grenat	1	25	74
3037	Gneiss à pyroxène et amphibole	5	29	66

f) Le diagramme K_2O - Na_2O - CaO illustre bien la métasomatose alcaline qui s'est effectuée lors de la charnockitisation (cf. pl.19, page 90).

G.- FACIES DE METAMORPHISME.- Pour l'étude des relations entre les compositions chimiques et minéralogiques, j'ai utilisé les diagrammes triangulaires ACF et A'FK, déjà définis à la page 57.

Les charnockites de Manakambahiny-Est, nous l'avons vu précédemment, font partie, à l'échelon régional, du complexe amphibolo-pyroxénique de l'Alaotra, ce dernier passant en dessous aux migmatites et leptynites de Vohimenakely. J'ai donc étudié pour mieux voir le problème, le faciès de métamorphisme des migmatites et leptynites de Vohimenakely, des gabbros et amphibolo-pyroxénites de l'Alaotra et des charnockites de Manakambahiny-Est.

Les paragenèses observées comparées avec les résultats du report des analyses chimiques sur les diagrammes ACF et A'FK montrent que :

1º) Les migmatites et leptynites du Vohimenakely ont une paragenèse du faciès amphibolite, subfaciès sillimanite-almandin-orthose, du type BARROW (cf. planche 21, page 93).

2º) Les gabbros et les amphibolopyroxénites de l'Alaotra ont une paragenèse du faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite (cf. planche 22, page 94).

3º) Les charnockites de Manakambahiny-Est ont également une paragenèse du faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite (cf. planche 23, page 95).

MIGMATITES ET LEPTYNITES DE VOHIMENAKELY

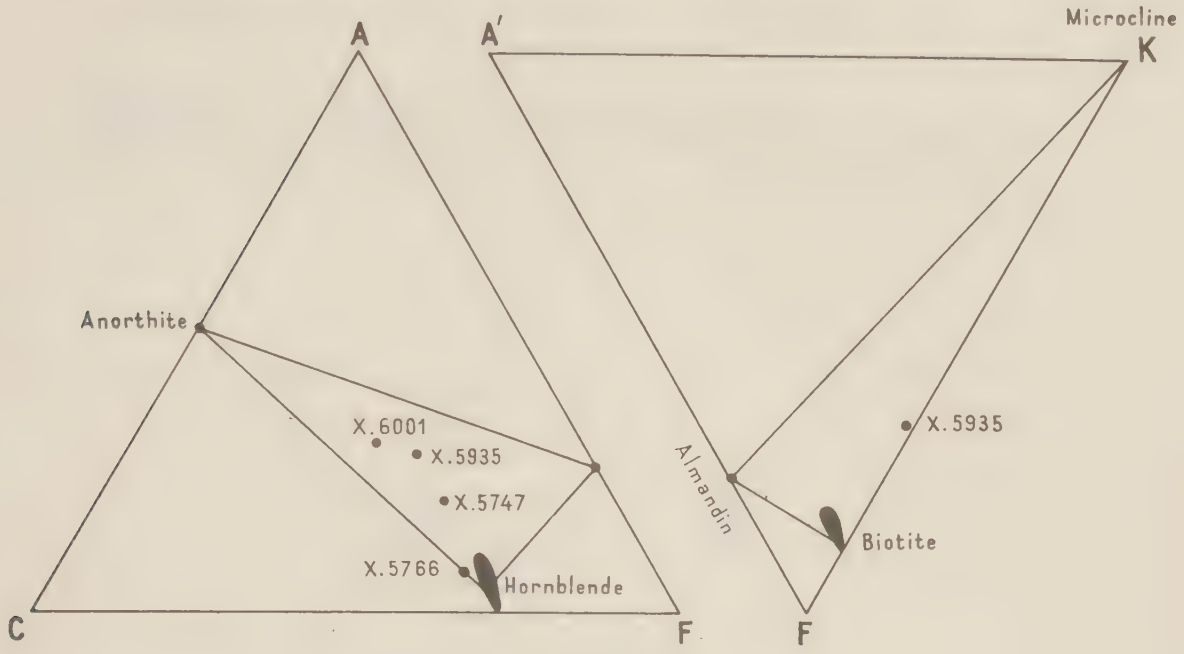


Diagramme ACF et A'FK
Faciès amphibolite , subfaciès sillimanite-almandin-orthose
(Type Barrow)

Voir analyses chimiques (Page:66)

Valeurs des paramètres ACF et A'FK

N^os	Nature roche	A	C	F	A'	F	K
X.5747	Migmatite à amphibole et grenat	20	27	53	–	–	–
X.5935	Migmatite léptynitique à amphibole et grenat	28	27	45	1	66	33
X.5766	Migmatite à amphibole et grenat	6	30	64	–	–	–
X.6001	Léptynite , amphibole et grenat	30	32	38	–	–	–

GABBROS ET AMPHIBOLO-PYROXENITES DE L'ALAOTRA

Diagramme ACF

Faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite

Valeurs des paramètres ACF

Nos	A	C	F
1	21	25	54
2	18	32	50
3	11	31	58
4	9	24	67
5	15	26	59
6	9	31	60

Nos 1, 2, 3 = Amphibolo-pyroxénites

4, 5, 6 = Gabbros

Voir analyses pages 65 et 66

22

CHARNOCKITES DE MANAKAMBAHINY-EST

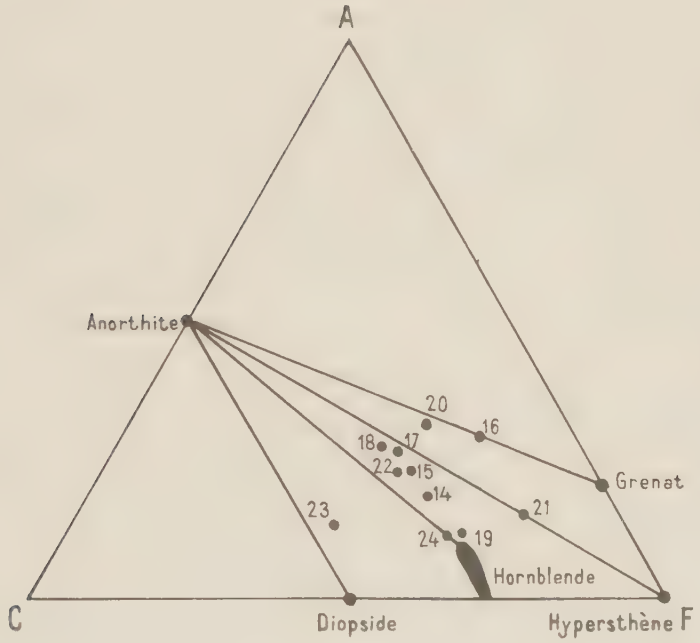


Diagramme ACF

Faciès granulite, subfaciès hornblende granulite

14, 15, 16 ..... etc.. correspondent aux numéros des analyses chimiques (cf. pl. 14)

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE MANAKAMBAHINY-EST

Valeurs des paramètres ACF

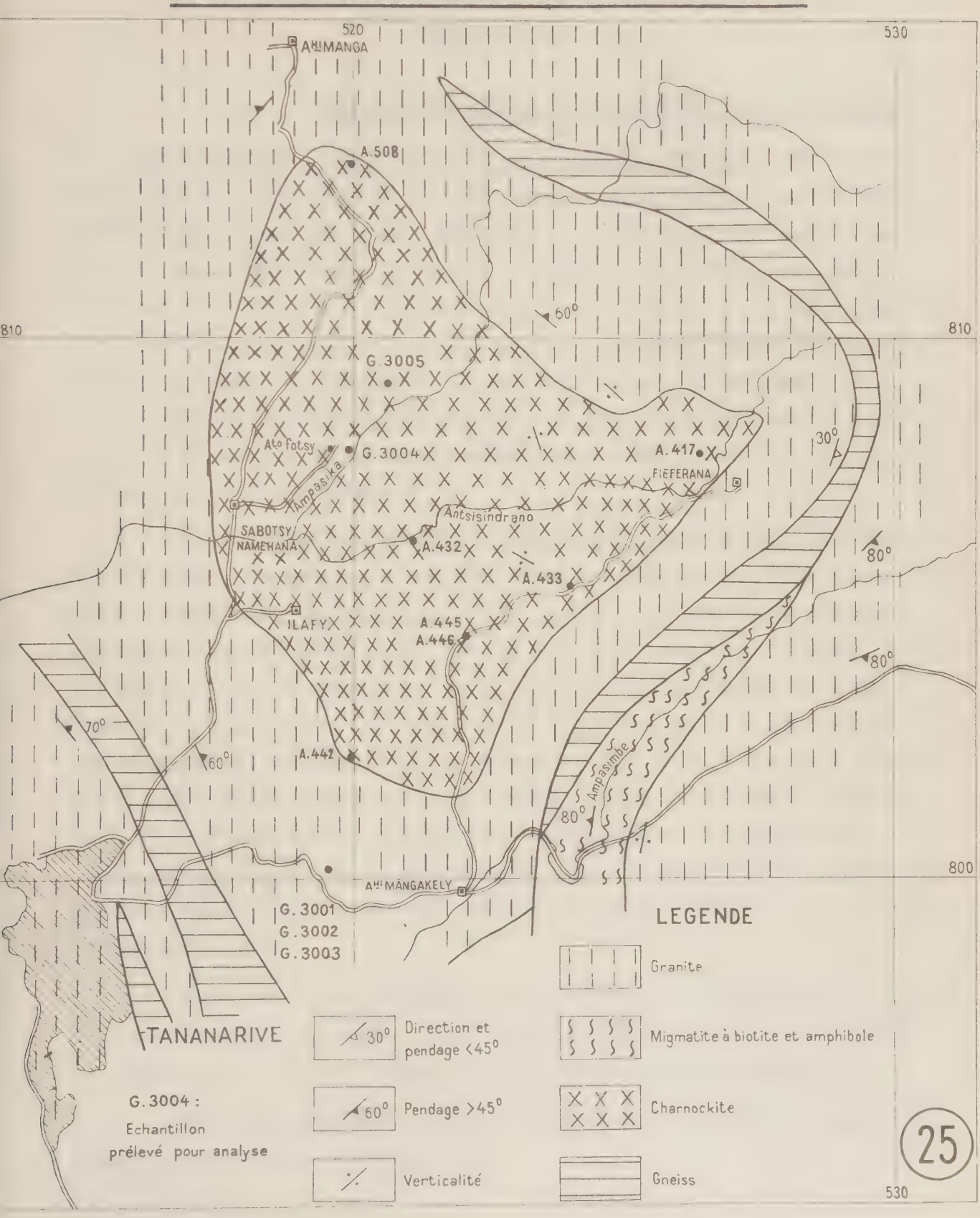
	Nº	Nature de la roche	A	C	F
14	G.3030	Amphibolite à pyroxène et grenat	18	28	54
15	3033	Gabbro associé aux charnockites	23	29	48
16	3028	Charnockite gabbroïque à grenat	28	15	57
17	3037	Gneiss à pyroxène et grenat	26	29	45
18	3029	Charnockite gabbroïque	27	31	42
19	3027	Charnockite gabbroïque	12	26	62
20	3032	Charnockite dioritique	31	23	46
21	3034	Charn.dioritique à grenat	15	15	70
22	3031	Charnockite dioritique	23	31	46
23	3036	Amphibolite à pyroxène et grenat	13	46	41
24	3038	Charnockite granitique	12	28	60

Nous retrouvons donc ici, comme dans le cas de la région de Soavinandriana-Betafo, une discordance entre le faciès de métamorphisme observé et les données du terrain. En effet, les migmatites situées en dessous du complexe amphibolo-pyroxénique devraient présenter un faciès de métamorphisme plus profond que ce dernier.

Nous avons vu dans le cas de Soavinandriana-Betafo (p.61) que cette discordance n'est qu'apparente et que le métamorphisme du faciès amphibolite dans une zone où il y a de grandes masses gabbroïques, détermine finalement une paragenèse à hornblende-diopside et hypersthène, c'est-à-dire du faciès hornblende-granulite.

H.- CONCLUSION SUR LES CHARNOCKITES DE MANAKAMBAHINY-EST.- L'étude pétrologique du Massif de Manakambahiny-Est nous apporte un argument de plus en faveur de notre conception sur la charnockitisation, déjà exprimée à la suite de l'étude de la région de Soavinandriana-Betafo. Dans les deux cas, nous constatons, en effet, que les charnockites semblent dériver de roches basiques, de composition gabbroïque, par une granitisation suivie d'une métasomatose alcaline, sous des conditions du faciès granulite ou tout au moins du subfaciès hornblende-granulite du faciès granulite.

LES CHARNOCKITES DE TANANARIVE



25

Chapitre III

LES CHARNOCKITES DE LA REGION DE TANANARIVE

A.- INTRODUCTION - LOCALISATION ET GISEMENT ETUDIE.- La région de Tananarive est une région fortement granitisée. Les principales formations sont des granites plus ou moins orientés passant à des migmatites. Dans cet ensemble granitique existent des bancs résiduels de pyroxénite, wernéritite, de gneiss (gneiss à pyroxène, gneiss à sillimanite et cordiérite, gneiss à sillimanite, grenat et graphite ou khondalite) et de micaschistes avec intercalations de quartzites. On peut trouver parfois des septums d'amphibolites ou d'amphibolo-pyroxénites dans les granites et les migmatites.

Au sein de cet ensemble granito-migmatitique, on remarque de temps en temps, soit dans les beds-rocks de fond de vallée, constituant généralement des barres rocheuses en travers des lits des rivières (tel est le cas par exemple, du seuil de Farahantsana au Nord-Ouest de la plaine de Tananarive), soit dans les affleurements déroctés le long des routes, soit dans les carrières en activité, la présence de charnockites, à grain moyen ou parfois pegmatitiques, caractérisées par leur coloration vert foncé à noir, parfois vert-jaunâtre malgachitique. D'une manière générale, ces roches sont de composition homogène, granodioritiques, à quartz, feldspath charnockitique et quelques ferromagnésiens.

Leur mode de gisement est tellement diversifiée que l'on peut se demander si l'on n'est pas ici devant différents types de formation, tant du point de vue origine que chronologie.

Ces charnockites peuvent se présenter en effet dans les types de gisements suivants :

1º) En bancs apparemment stratoïdes, épais. Tel est par exemple le cas des charnockites du Tampoketsa au Nord d'Ankazobe, sur la route de Majunga. Nous disons ici apparemment stratoïde, car il n'est pas possible de voir les relations de ces bancs avec les granites. On peut, en effet, penser à des bancs de charnockites résiduelles qui ont résisté à la granitisation générale ayant affecté la région.

2º) En bancs d'extension limitée (comme dans le cas de l'affleurement du kilomètre 13 de la route de Tamatave), mais associés à des formations amphibolo-pyroxéniques. Ici nous pensons à des formations résiduelles. En effet, étant passé à cet affleurement à une époque où il venait d'être dérocté, à la suite d'une rectification de la route de Tamatave, j'ai pu constater que, vers les bordures, les formations charnockitiques à feldspaths verdâtres sont envahies par des cristaux de feldspaths roses analogues à ceux des migmatites enveloppantes.

3º) En enclaves au sein des granites. De telles enclaves sont observées fréquemment dans les carrières des environs de Tananarive. De même que précédemment, on observe dans ces enclaves, surtout vers les bordures, l'envahissement par les feldspaths roses dont la coloration tranche nettement sur le fond verdâtre charnockitique.

D'une façon générale, l'on peut dire que les charnockites de la région de Tananarive sont à l'état plus ou moins résiduel au sein de cet ensemble granito-migmatitique. La dimension de ces enclaves est généralement restreinte. Il existe cependant, au Nord immédiat de Tananarive, dans la région d'Ilafy, une zone où les charnockites présentent une certaine extension ; c'est cette zone que nous avons choisie pour étude de détail, de

façon à en dégager les principales caractéristiques pétrologiques. Il s'agit là d'un petit massif apparaissant en gisement synclinal au sein des formations granito-migmatitiques, grossièrement lenticulaire, allongé sur 10 kilomètres environ (allant d'Ilafy à Ambohimanga pour l'axe Nord-Sud et de Sabotsy-Namehana à Fieferana pour l'axe Est-Ouest). Il semble être caractérisé par une homogénéité du point de vue pétrographique, d'une façon générale de composition granodioritique.

En maints endroits, on peut observer l'effet de la granitisation sur ces roches. On y observe en effet des cristaux de feldspath rose qui tranchent nettement sur le fond charnockitique verdâtre plus ou moins foncé, ainsi que quelques cristaux de quartz limpide qui se distinguent facilement des cristaux de quartz charnockitiques, généralement grisâtres ou brunâtres. Il est donc bien évident, étant donné ces constatations, que les caractères pétrologiques originels de ces charnockites seraient très difficiles à dégager. L'intérêt de cette étude est de montrer l'existence d'une vaste région charnockitique qui a été démantelée lors de la granitisation générale ayant affecté la région.

B.- HISTORIQUE.- Dans chaque région précédemment étudiée, il existe une date qui marque le début des travaux géologiques qui s'intègrent dans le cadre de la géologie régionale. Dans le cas de Tananarive, cette date est 1952.

- On peut dire en effet qu'avant 1952, les documents sur la géologie de la région de Tananarive sont relativement rares. On a surtout de courtes notes se rapportant à des points particuliers, d'ordre minéralogique, pétrographique ou minier. C'est ainsi que l'on peut mentionner un certain nombre de notes

du R.P. J.MUTHUON, publiées dans les bulletins de l'Académie Malgache, et dont celle sur les alignements granitiques de la région de Tananarive fut la plus marquante. Par ailleurs, on peut citer également les diverses notes inédites des environs de Tananarive du R.P. Ch.POISSON. Enfin, A.LACROIX, dans son ouvrage sur la "Minéralogie de Madagascar", a rapporté des études pétrographiques de diverses roches collectées en différents endroits, sans qu'il y ait eu toutefois aucune étude géologique à l'échelon régional. Un certain nombre d'analyses chimiques accompagnent ces notes. Quelques-unes se rapportent à des charnockites.

- C'est en 1952 que les premiers travaux de levers géologiques, suivis de synthèse à l'échelon régional, furent effectués par L.LAPLAINE. Les résultats de ces travaux furent publiés dans le TBG n°32 : "Etude géologique des feuilles Miarinarivo et Tananarive". Une carte de synthèse au 1/200.000 en deux couleurs fut établie.

- Bien que n'ayant pas de relation directe avec les charnockites, signalons ici l'étude menée en 1957 par L.DELBOS sur trois types de granite des environs de Tananarive : "Les granites des Ambatomiranty, de Behenjy et des Vavavato près de Tananarive, à Madagascar" (Thèse Clermont-Ferrand). Dans cette étude, L.DELBOS indique que les granites des Ambatomiranty et des Vavavato résulteraient de la granitisation de roches basiques grenues gabbroïques ou dioritiques intrusives dont des enclaves sont les témoins résiduels. Ceci témoigne de l'existence d'un grand développement d'intrusions basiques dans la région, suivies d'une granitisation. Dans sa thèse, L.DELBOS donne trois mesures géochronologiques effectuées par la méthode plomb-alpha sur zircon provenant des trois types de granites :

- granite Ambatomiranty d'Ambatoroka (Tananarive) = 1050 millions d'années ;
- granite des Vavavato (20 km NE de Betafo) = 1060 millions d'années ;
- granite à orthite (Alakamisy-Ambohimaha - Région de Fianarantsoa) = 510 millions d'années.

L.DELBOS assimile le granite de Behenjy au granite à orthite dont l'extension est très grande dans le centre de Madagascar. Le mode de formation des granites des Ambatomiranty et des Vavavato se rapproche beaucoup de celui des charnockites de Soavinandriana-Betafo qui sont localisées dans une région voisine. L'on peut se demander si ces phénomènes ne sont pas liés entre eux ou tout au moins contemporains.

- En 1962, G.DELUBAC, M.RANTOANINA et W.RAKOTOARISON ont procédé au lever géologique au 1/100.000 des feuilles Tananarive-Manjakandriana (P-Q.47). Les résultats sont consignés dans le TBG n°114. Les charnockites y sont mentionnées, mais très brièvement. La carte géologique Tananarive-Manjakandriana au 1/100.000, en deux couleurs, fut publiée en 1963.

Mes études sur les charnockites de Tananarive datent de 1963. Elles ont porté surtout sur le massif d'Ilafy et sur l'enveloppe immédiate de ce massif. Il s'agit là de travaux de détails bien localisés et non à l'échelle régionale. Dans cet ouvrage, je ferai appel largement aux différents résultats acquis pour situer les charnockites de Tananarive dans son contexte géologique régional.

A Tananarive, de par le développement de la ville, beaucoup d'affleurements ont disparu. Les auteurs cités précédemment ne sont pas très bavards sur la géologie de Tananarive même. A ce sujet, tout récemment, H.BESAIRIE a rassemblé avec force détails,

les données essentielles provenant d'anciennes observations inédites dans des carrières et des affleurements dont la majorité a aujourd'hui disparu[1].

C.- PETROGRAPHIE.- I.- LES ENVELOPPES.- Le fond géologique de la région était constitué par des formations cristallophylliennes dont il ne reste plus que des lambeaux à la suite d'une forte granitisation. L'ensemble se présente en un système synclinal dont le centre est occupé par le massif charnockitique d'Ilafy.

1º- Les formations cristallophylliennes.- Elles sont très diversifiées et comportent des pyroxénites, des amphibolites, des gneiss divers, des micaschistes et des quartzites.

a)- Les Pyroxénites.- Elles constituaient des bancs d'extension restreinte. On ne retrouve plus actuellement les principaux affleurements signalés dans la littérature ancienne. On relevait la présence dans la région, de pyroxénites à wernérite, d'autres à diopside, hornblende verte et sphène ou à diopside, hornblende, épidote et zoïsite.

Nous avons rencontré dans la carrière d'Ambohimahitsy, près de Tananarive, en enclave dans granite, une pyroxénite feldspathique associée à des charnockites et comportant de l'hypersthène, du diopside-hédenbergite et de la biotite.

---

(1) BESAIRIE H., 1969 : Description géologique du massif ancien de Madagascar. 3e volume. Documentation du bureau géologique nº177c - Service Géologique - Tananarive, 1969 (en cours).

b)- Les amphibolites.- Leur extension est également restreinte. De même que pour les pyroxénites, les affleurements signalés dans la littérature ancienne ont souvent disparu. A.LACROIX signalait la présence d'amphibolite à grenat à Ambatomainty (Tananarive). On notait aussi la présence d'amphibolite feldspathique à trémolite et diopside (Ambohimalaza - Est de Tananarive). Ce sont surtout des pyroxéno-amphibolites que l'on rencontre fréquemment au sein des migmatites. Un échantillon associé à de la charnockite, prélevé au kilomètre 13 sur la route de Tamatave, montre la composition minéralogique suivante : plagioclase, hornblende, hypersthène, diopside-hédenbergite, et accessoirement apatite et magnétite.

c)- Les gneiss.- Ce sont surtout des gneiss à biotite, parfois à amphibole. Ils sont parfois à grenat, parfois à cordiérite et sillimanite, ou à graphite et grenat (khondalite). Ces types de gneiss résistent très mal à l'altération. Ils donnent d'épaisses formations latéritiques de coloration rouge violacé.

Les types qui résistent mieux à l'altération sont les gneiss à pyroxène. Ces derniers se présentent en bancs parfois importants au sein de l'ensemble granito-migmatitique. Ce sont des roches à grain moyen, souvent rubanées, de couleur verdâtre. Leur composition moyenne est la suivante : quartz, oligoclase-andésine, diopside, sphène, grenat.

d)- Les micaschistes.- D'extension très localisée, ces formations sont presque toujours fortement altérées, en donnant un sol latéritique violet. Elles sont à sillimanite et grenat. Le corindon a été signalé en certains endroits.

e)- Les quartzites.- Ils sont nombreux, généralement en bancs de faible épaisseur, s'allongeant sur de grandes distances.

Il s'agit de quartzite à magnétite, parfois à sillimanite, graphite et grenat.

f)- Les granites.- Le problème des granites de la région de Tananarive est fortement complexe et rejoint ce que nous avons déjà dit pour la région de Soavinandriana-Betafo. Les faciès sont très diversifiés. On peut distinguer des types schisteux, d'autres nettement granitoïdes, et enfin des variétés porphyroïdes. Dans cet ensemble, les granites Ambatomiranty tranchent singulièrement par leur gisement à allure filonienne. D'une manière générale, les granites de la région de Tananarive sont des roches très claires, généralement roses, parfois blanches. Ils sont constitués de quartz, microcline, oligoclase, myrmékite, biotite et accessoirement magnétite et zircon.

Les granites sont étroitement associés à des migmatites auxquelles ils passent insensiblement et dont ils se distinguent par une schistosité plus marquée, soulignée par des lits de ferromagnésiens renfermant généralement de la biotite et de la hornblende.

II.- LES CHARNOCKITES.- Ce sont des roches vert foncé presque noires, généralement orientées, à quartz brun-noir, feldspath vert sombre, biotite et autres ferromagnésiens. Le grain est généralement moyen, de l'ordre de 2 à 3 millimètres. On peut cependant trouver, comme dans la carrière de l'Institut Pasteur, des types à grain grossier, pegmatitiques, dont la dimension des cristaux dépasse le centimètre. Dans ces types, le quartz est bleuté. Les charnockites de la région de Tananarive ont une composition minéralogique comprenant : quartz, orthose perthitique, oligoclase, myrmékite, hypersthène, pyroxène monoclinique vert, hornblende, biotite et accessoirement apatite et magnétite. La structure est généralement granoblastique.

Les charnockites d'Ilafy, ainsi que la plupart des charnockites se présentant en gisement apparemment stratoïde, semblent être pétrographiquement homogènes. La composition de base est celle décrite précédemment.

Cependant, au sein même de ce massif, on peut observer parfois deux types de biotite : un type brun foncé et un type brun clair à jaune clair bien automorphe. La biotite peut être quelquefois abondante. D'autre part, l'hypersthène est généralement plus ou moins ouralitisé. Enfin, en maints endroits, on peut remarquer l'absence de l'hypersthène, ce qui donne la composition minéralogique suivante : quartz, oligoclase, orthose microperthitique, myrmékite, diopside-hédenbergite, hornblende, biotite, apatite, zircon et magnétite. La structure est toujours granoblastique.

Il y a donc là un signe évident de rétromorphose. Ce phénomène résulte de la granitisation des charnockites. J'ai pu observer, en effet, dans la carrière d'Analamahitsy près de Tananarive, le passage des charnockites au granite. Dans cette carrière, on a un granite migmatitique avec enclave de charnockite associée à de la pyroxéno-amphibolite et passant progressivement au granite.

Le granite est un granite rose à grain fin qui tranche nettement sur les roches charnockitiques de coloration vert foncé. L'amphibolite est une roche noire presque schisteuse composée d'oligoclase, hornblende abondante, diopside-hédenbergite rare, biotite abondante, accessoirement apatite, magnétite et zircon. La structure est granolépidoblastique.

La charnockite vert foncé constitue un ensemble grenu à grain plutôt fin, dans lequel on voit quelques gros cristaux de feldspath rose. Deux lames ont été taillées dans cette partie à

texture fine. La première montre au microscope, du quartz, plagioclase séricitisé, biotite, hornblende, hypersthène plus ou moins ouralitisé, accessoirement apatite, magnétite, zircon. Structure granoblastique. La deuxième a donné : quartz, microcline perthitique, myrmékite, oligoclase, hornblende, biotite et biotite chloritisée, pyroxène résiduel au sein de cristaux dont les bordures sont constituées par de la hornblende, magnétite. Structure hétéroblastique.

Dans le granite, on observe du quartz, du plagioclase séricitisé, du microcline perthitique, de la biotite, de la biotite chloritisée, accessoirement de la magnétite et de l'apatite.

En certains endroits, le passage progressif du granite aux charnockites n'existe pas. Dans la carrière SAVARON, à Mahamasina, aujourd'hui recouverte d'habitations, on observait la succession suivante (in H.BESAIRIE : Doc. nº177c, en cours) :

Charnockite granodioritique - migmatite à trame de gneiss à biotite et lits bien séparés de granite - granite microclinique stratoïde - charnockites avec lits de pegmatites charnockitiques et veinules de biotite - granites stratoïdes de la haute ville.

On constatait alors que de nombreux filonnets de granite à caractère diadysique recoupent les charnockites.

Dans la carrière d'Ambohimahitsy, près de Tananarive, sur la route de Tamatave, on peut voir des enclaves de charnockite associée à de la pyroxénite feldspathique dans le granite rose. La pyroxénite comporte de l'oligoclase, hypersthène, diopside-hédenbergite, biotite, accessoirement apatite, magnétite, zircon. C'est une roche noire, à grain fin. Sa composition est d'ailleurs dioritique, mais le feldspath est blanc, non malgachi-

tique. La charnockite est caractérisée par sa couleur. Cependant nous sommes tombés sur un échantillon qui, bien que présentant la coloration charnockitique normale, n'a plus d'hypersthène et qui présente la composition du granite leucocrate encaissant, à savoir : quartz, oligoclase antiperthitique, orthose microperthitique, myrmékite, biotite, accessoirement apatite, magnétite, zircon. Ces échantillons ont fait l'objet d'analyses chimiques. On peut constater d'après les résultats, seulement une teneur en alcalins plus élevée dans la charnockite que dans le granite rose.

En résumé, bien que les charnockites de la région de Tananarive soient dans l'ensemble granodioritiques à granitiques, on observe des variations nettes dans leur composition minéralogique, résultant de l'influence de la granitisation qu'elles ont subie. On peut distinguer en effet des types à hypersthène, diopside-hédenbergite, hornblende et biotite, puis des types à diopside-hédenbergite, hornblende et biotite sans hypersthène, des types à hornblende et biotite sans hypersthène et enfin des types à biotite seulement.

On peut voir que les deux derniers types ne sont ici considérés comme charnockite que grâce à leur coloration. Nous verrons plus loin que, chimiquement, ils se rapprochent cependant des charnockites à cause de leurs teneurs en FeO et en alcalins plus élevées que dans les granites roses voisins.

III.- CONCLUSION.- L'étude des charnockites de la région de Tananarive (gisement et pétrographie) conduit aux constatations suivantes :

1º) Ces roches sont homogènes, généralement de composition granodioritique à granitique. Bien qu'elles soient asso-

ciées à des roches basiques de composition gabbroïque, les termes gabbroïques et dioritiques ne s'observent pas ou très rarement. D'autre part, l'absence des faciès syénitiques est à remarquer. Cependant, la présence parfois de quartz limpide et de feldspath rose au sein de l'ensemble charnockitique de coloration vert foncé ou vert-jaunâtre indique que ce dernier a subi l'influence de la granitisation et que le caractère observé actuellement est déjà résiduel et non originel. Cette influence a provoqué une rétromorphose qui se traduit par l'ouralitisation générale des pyroxènes, la disparition de l'hypersthène en beaucoup d'endroits et la présence de faciès à coloration charnockitique mais sans pyroxène du tout.

2º) Le gisement stratoïde qu'on observe sur le Tampoketsa d'Ankazobe, en réalité, ne serait en conséquence que des bancs qui ont pu résister à la granitisation.

3º) Au niveau de la géologie régionale, cette étude montre que la charnockitisation ici est antérieure à la dernière granitisation qui a affecté la région.

D.- CARACTERES CHIMIQUES.- 8 analyses chimiques ont été faites sur le massif d'Ilafy, 2 par le Laboratoire d'Analyses Minérales et d'Essais Industriels de la Direction des Mines et de l'Energie à Tananarive, 6 autres effectuées au quantomètre par le Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy. En outre, 3 échantillons prélevés dans la carrière d'Ambohimahitsy, près de Tananarive (route de Tamatave), se rapportant à une charnockite en enclave dans granite et associée à de la pyroxénite, ont été analysés au Laboratoire de Tananarive.

A ces nouvelles analyses, nous avons sélectionné d'anciennes analyses effectuées par A.LACROIX, se rapportant à dif-

férentes formations de la région de Tananarive (amphibolite, gneiss à pyroxène, gneiss à cordiérite, migmatite à amphibole, granite et charnockite).

Comme précédemment, nous donnons à la suite :

1º) Deux tableaux récapitulatifs des analyses chimiques avec les pourcentages pondéraux des oxydes, les paramètres A. LACROIX, ainsi que les paramètres de NIGGLI (pour le premier tableau).

2º) Un tableau présentant les analyses chimiques suivant la méthode ESKOLA (pourcentages des cations).

3º) Diagramme de variation des différents cations en fonctions de K^+.

4º) Diagramme de variation des différents cations suivant les valeurs décroissantes de Ca.

I.- REMARQUES GENERALES.- L'examen des données brutes des analyses chimiques montre :

1º) Les charnockites de la région de Tananarive,tout comme les autres charnockites que nous avons vues jusqu'à maintenant, sont caractérisées par une teneur assez élevée en FeO comparativement aux granodiorites non malgachitiques. Cependant, dans les termes granitiques (Analyses 35 et 36), la teneur en FeO se rapproche beaucoup de celle des granites alcalins encaissants (An. 37 et 38), c'est-à-dire que FeO a diminué, alors que l'on observe des teneurs en SiO_2 et K_2O nettement plus élevées. Ceci confirme l'influence des granites encaissants.

2º) Comparés aux charnockites granitiques et granodioritiques de Soavinandriana-Betafo et de Manakambahiny-Est, on peut constater que les résultats des analyses chimiques des

charnockites granodioritiques de Tananarive sont plutôt voisins de ceux de Soavinandriana-Betafo que de Manakambahiny-Est.

Certes, le nombre des analyses que nous utilisons est très faible; cependant, à titre comparatif, en utilisant les résultats précédents, on peut penser à attribuer aux charnockites de Tananarive une origine comparable à celle de Soavinandriana-Betafo, c'est-à-dire à partir d'un gabbro qui aurait subi un métamorphisme dans la zone du faciès amphibolite et ensuite une granitisation suivie d'une métasomatose alcaline. Le métamorphisme d'un gabbro dans le faciès amphibolite transforme le pyroxène en hornblende. Cette opération nécessite de l'eau et abaisse donc sensiblement la pression d'eau dans le massif de gabbro, ce qui crée les conditions nécessaires à l'apparition de la paragenèse à hypersthène du faciès hornblende-granulite.

Ceci suppose par conséquent, comme dans la région de Soavinandriana-Betafo, l'existence de gabbros intrusifs qui ont été par la suite charnockitisés.

Dans notre domaine de travail, nous n'avons rencontré aucun gabbro. De même, dans toute la région des environs de Tananarive, aucun affleurement de gabbro n'est signalé, ni par L.LAPLAINE ni par G.DELUBAC qui ont pourtant effectué les levers géologiques de cette région. Cependant, A.LACROIX cite dans sa "Minéralogie de Madagascar", un gabbro à labrador, biotite, hypersthène, diallage et hornblende, dans la vallée située au Nord de l'Hôpital de Tananarive, ainsi qu'un gabbro à diallage et hypersthène avec beaucoup de quartz, hypersthène en grands cristaux allongés moulant localement le quartz et les plagioclases, à l'Est d'Anjanahary. Il s'agissait donc là de gabbros résiduels originellement intrusifs, d'extension très limitée et dont les affleurements ont aujourd'hui disparu.

En outre, des roches dérivant de transformation de gabbro ont été signalées : une orthoamphibolite à grenat qui se place dans un milieu charnockitique (quartier d'Ambatomainty à Tananarive), et une orthopyroxénite à grenat, augite et amphibole (Ambohibato près de Tananarive).

La difficulté dans la région de Tananarive est le grand développement des granites. Ceci ne permet, en effet, pas de voir clairement les relations entre charnockites et les formations cristallophylliennes précédentes dont l'origine para est évidente. Charnockites et paraectinites sont tous les deux ici en enclaves résiduelles.

II.- INTERPRETATION.- Les analyses chimiques obtenues montrent que les charnockites de la région de Tananarive ont une composition assez homogène variant du granodiorite au granite monzonitique.

a) - L'examen du diagramme de variations des pourcentages en cations en fonction des valeurs croissantes de K donne :

1º) Les points représentatifs des charnockites constituent des courbes que l'on peut prolonger aux points relatifs aux pyroxénites associées aux charnockites.

2º) Les granites et les gneiss (à pyroxène, à cordiérite) sont représentés par des points qui, nettement, ne s'intègrent pas dans les courbes des roches charnockitiques. Par rapport aux charnockites, les granites sont caractérisés par une teneur en Si nettement plus élevée.

3º) Pour les charnockites, on observe que suivant les valeurs croissantes de K :

- La courbe de variation de Si croît régulièrement des pyroxénites aux charnockites granodioritiques. Puis dans la zone des charnockites granitiques, elle présente une légère décroissance.

- Al décroît, puis dans la zone des charnockites granitiques, présente une légère croissance.

- Ca, Fe, Na et Mg décroissent régulièrement.

L'on peut distinguer ici encore deux parties :

i) La première allant des pyroxénites aux charnockites granodioritiques et aux charnockites granitiques, qui montre que ces dernières peuvent dériver des pyroxénites par un apport de Si, K et départ de Ca, Fe, Mg : ce qui correspond à une granitisation.

ii) La deuxième partie entièrement localisée dans la zone des charnockites granitiques correspond à un apport de K et départ de Si, Ca, Fe, Mg, ce qui correspond à une métasomatose alcaline (potassique).

Ici encore, donc, l'on constate que la charnockitisation correspond à une granitisation de roche basique à composition gabbroïque suivie d'une métasomatose alcaline.

Dans le cas de la région de Tananarive, le phénomène n'a pas été complet puisqu'il n'y a pas eu formation de charnockite syénitique comme c'est le cas dans la région de Soavinandriana-Betafo.

b) - Du diagramme précédent relatif aux variations des pourcentages en cations en fonction de K, j'ai constaté que, de tous les éléments, Ca présente une variation régulière. Aussi, ai-je établi un diagramme de variations des pourcentages en cations suivant les valeurs décroissantes de Ca. Ce nouveau diagramme montre que :

1º) Il y a une sorte de différenciation des formations. Les charnockites sont groupées au centre ainsi que la pyroxénite feldspathique (à composition noritique) associée aux charnockites. Aux deux bouts du tableau, on a : dans la zone riche en Ca, les amphibolites et gneiss - dans la zone pauvre en Ca, les granites.

2º) Les charnockites se classent de la façon suivante : pyroxénite - charnockite granodioritique - charnockite granitique monzonitique - charnockite granitique alcaline.

3º) Suivant les valeurs décroissantes de Ca, on note que : - des pyroxénites aux charnockites granodioritiques, Si croît ainsi que K, alors que Al, Fe, Mg décroissent (granitisation) - dans la zone des charnockites granitiques, Si décroît légèrement, Fe et Mg décroissent, alors que K est toujours croissant (métasomatose potassique).

Donc, nous retrouvons ici, pour la charnockitisation, la même conclusion qu'auparavant.

REGION DE TANANARIVE

ANALYSES CHIMIQUES

N°	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
INDICATIF	A.LACROIX Min.Mad.	F.1429(1)	G.3002(2)	A.LACROIX T.II-p.326	G.3004	A.LACROIX Min.Mad.	G.3005	A.LACROIX Notes posthumes	A.LACROIX		G.3003	G.3001		Analyse Clermont-Ferrand
PROVENANCE	Ambatomainty (Tananarive)	Penomanana (Tananarive)	Carrière Ambohimahitsy (Route de Tamatave)	Ankatso	Massif charnockitique d'Ilafy	Andriantany (N. Tana)	Massif charnockitique d'Ilafy	Tsarazafy	Tampoketsa Ankazobe	Carrière SAVARON	Carrière Ambohimahitsy (Route de Tamatave)	Carrière Ambohimahitsy (Route de Tamatave)	Carrière SAVARON	Ankatso
ROCHE	Amphibolite à grenat	Gneiss à pyroxène	Pyroxénite feldspatique	Migmatite à biotite et hornblende	Charnockite granodioritique	Charnockite granodioritique	Charzockite granodioritique	Gneiss à cordiérite	Charnockite granitique monzonitique	Charnockite granitique (monzonitique)	Charnockite granitique	Granite alcalin	Granite alcalin	Granite alcalin
SiO_2	49,55	61,40	46,40	65,04	62,60	68,61	66,40	63,50	69,24	69,64	70,50	75,40	75,03	76,30
Al_2O_3	12,55	13,30	19,60	12,33	18,20	16,08	14,60	10,66	13,52	14,79	13,50	10,70	14,26	12,55
Fe_2O_3	4,20	2,30	7,00	4,07	2,30	1,03	2,00	7,31	3,09	0,60	1,05	1,10	0,27	1,05
FeO	10,70	1,85	7,60	2,40	2,90	1,60	2,10	2,76	3,63	1,55	1,30	1,30	0,80	0,30
MgO	6,91	5,00	0,80	0,66	1,80	1,00	1,60	3,45	0,34	2,38	0,45	0,40	2,26	0,40
CaO	11,70	11,75	7,50	4,72	4,00	3,48	3,10	2,86	2,12	1,99	1,35	1,30	0,74	3,10
Na_2O	2,00	3,35	4,10	3,57	3,60	3,62	5,10	3,81	3,19	1,81	4,70	3,90	2,09	5,75
K_2O	0,49	0,55	1,40	5,18	2,50	3,07	3,20	3,72	4,74	6,08	5,30	4,40	5,21	0,15
TiO_2	1,64	0,50	2,20	1,35	0,40	0,59	0,45	1,22	0,11	0,30	0,30	0,20	0,17	-
P_2O_5	traces	-	0,48	0,33	0,15	0,20	0,15	0,17	0,09	0,88	0,09	0,05	0,45	-
MnO		0,05	0,18		0,05		0,05				0,01	0,02		
S			0,60											
H_2O+	0,55	0,50	0,65	0,50	0,50	0,31	0,50	0,71		0,19	0,30	0,25	0,06	0,40
H_2O-		0,10	0,20	0,06	0,25	0,18	0,15	0,07	0,22	0,10	0,25	0,10	0,11	0,20
Total	100,29	100,65	98,71	100,21	99,25	99,77	99,40	100,24	100,29	100,38	99,10	99,12	99,45	100,50
Analyste(3)	Ra	C	R		R	B	R		Ra		R	R		C
Date	1927	1957	30-4-64		1964	1922	1964		1922		1964	1964		1957
C.I.P.W.	III,5,4,4(5)	II',4,3,'5	II,5,4,4	II,4,1,3	I(II),4,3,'4	I'4,(2)3,(3)4	(I)II,4,'2,4	II,4,1,3(4)	I',4,2,3	I(II),'4,'2,2	I',4,1,3'	I',(3)4,1,3'	I,3,1,(2)3	I,(3)4,1,3
Niggli														
si	111,10	176,57	123,99	258,98	232,23	308,27	270,13	223,95	312,02	319,80	354,74	448,94	475,24	476,75
al	16,55	22,50	30,81	28,88	39,71	42,50	34,93	22,11	35,84	39,95	39,95	37,47	53,13	46,13
fm	50,30	30,96	34,73	24,06	25,53	16,20	23,15	45,70	26,37	24,39	12,85	15,03	7,98	9,29
alk	5,04	10,33	12,99	26,92	18,84	24,55	28,38	21,38	27,55	25,86	39,90	39,19	33,87	41,90
c	28,11	36,96	21,47	20,14	15,89	16,75	13,51	10,81	10,24	9,80	7,27	8,29	5,02	2,68

(1) F = Echantillon L.DELBOS (2) G = Echantillon A.RAZAFINIPARANY

(3) Analystes : Ra = M.RAOULT C = Y.CHALEIL R = F.RUF B = BOITEAU

Nº	40	41	42	43	44	45
INDICATIF	A.442(1)	A.508	A.433	A.432	A.417	A.446
PROVENANCE	Massif charnockitique d'Ilafy (Tananarive)					
SiO_2	61,20	63,40	67,90	66,70	66,70	71,60
Al_2O_3	14,90	15,50	15,40	15,50	14,70	13,40
Fe_2O_3(*)	7,37	5,55	3,73	4,13	4,48	3,48
MgO	2,59	1,98	1,39	1,69	1,99	0,89
CaO	5,33	4,11	3,73	3,58	3,38	2,68
Na_2O	4,28	3,71	3,48	3,83	3,78	3,73
K_2O	1,89	3,62	3,98	3,28	3,43	3,73
TiO_2	0,84	0,59	0,41	0,46	0,44	0,34
MnO	0,11	0,08	0,07	0,09	0,09	0,06
P.F.(x)	0,43	0,87	0,48	0,50	0,43	0,58
Total	98,94	99,41	100,57	99,76	99,42	100,49
Analyste	Analyses effectuées au quantomètre par B.MOINE (C.R.P.G. - Nancy)					
Date	------ J U I N 1968 ------					

(1) A = Echantillon A.RAZAFINIPARANY.

(*) Fe_2O_3 total après oxydation de tout le fer.

(x) Perte au feu à 1000º.

CHARNOCKITES DE LA REGION DE TANANARIVE

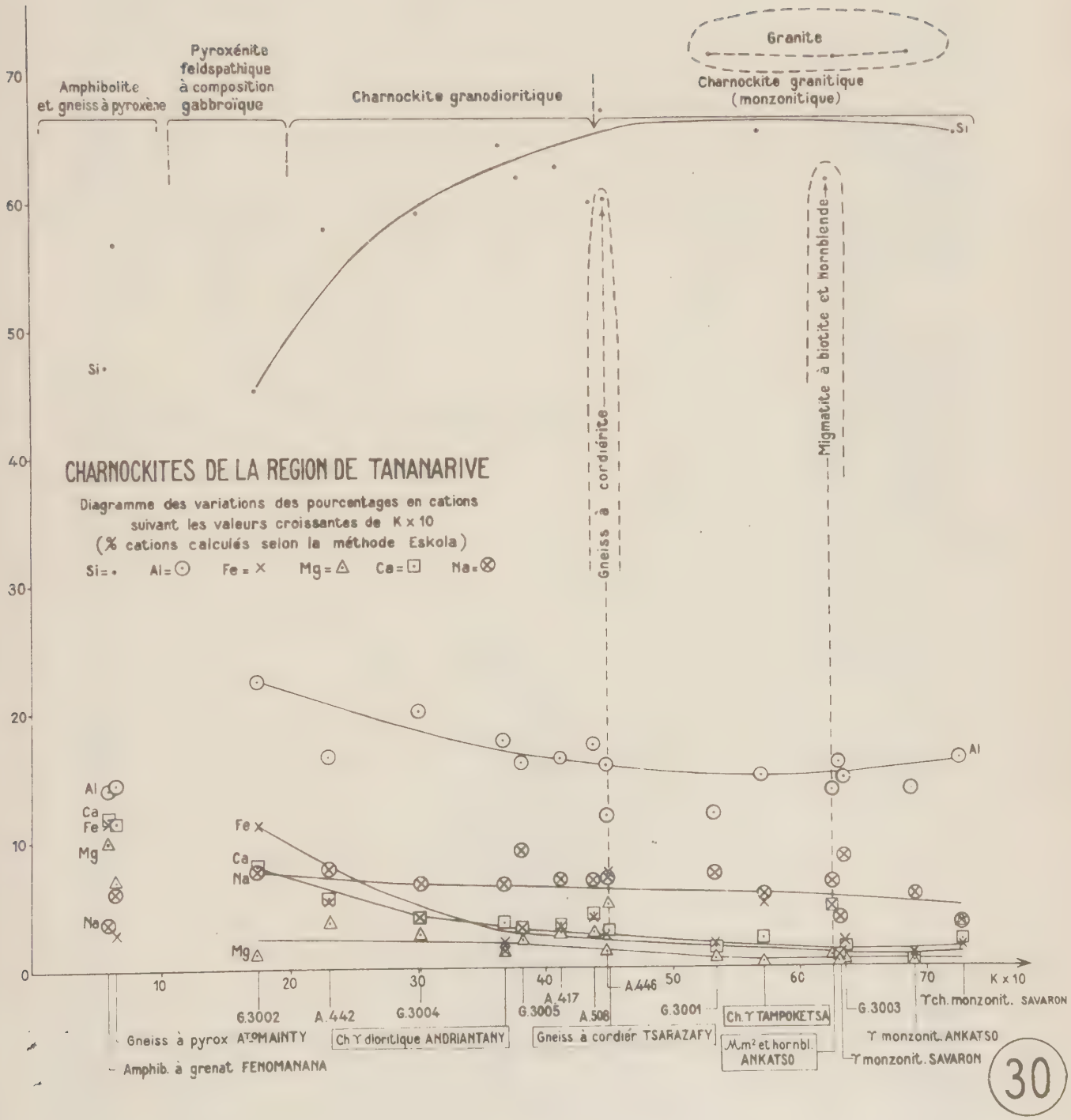
Tableau des pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA

Nº	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Si	47,187	56,871	45,371	61,674	59,186	64,483	62,049	60,336	65,535	65,257	66,168	71,629	71,416	71,688
Al	14,061	14,493	22,548	13,755	20,244	17,780	16,051	11,916	15,055	16,305	14,906	11,958	15,968	13,872
Fe^{+++}	3,000	1,598	5,134	2,895	1,630	0,726	1,401	5,210	2,193	0,422	0,739	0,783	0,193	0,740
Fe^{++}	8,491	1,428	6,193	1,896	2,284	1,253	1,635	2,185	2,863	1,211	1,016	1,029	0,634	0,235
Mg	9,871	6,947	1,173	0,939	2,552	1,410	2,242	4,917	0,483	3,345	0,633	0,569	0,371	0,423
Ca	11,937	11,661	7,858	4,795	4,052	3,504	3,103	2,912	2,150	1,998	1,357	1,323	0,755	0,403
Na	3,687	6,005	7,760	6,552	6,587	6,585	9,224	7,006	5,844	3,282	8,537	7,170	3,850	5,637
K	0,595	0,650	1,747	6,270	3,017	3,684	3,817	4,512	5,728	7,273	6,350	5,336	6,330	6,897
Ti	1,171	0,347	1,613	0,960	0,283	0,416	0,315	0,869	0,078	0,211	0,211	0,142	0,121	0,105
P	0,000	0,000	0,397	0,264	0,119	0,159	0,118	0,137	0,071	0,696	0,071	0,040	0,362	0,000
Mn	0,000	0,000	0,206	0,000	0,039	0,000	0,039	0,000	0,000	0,000	0,007	0,016	0,000	0,000
Total	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	99,999	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
O/100 cations	154,747	161,936	156,667	164,944	164,209	169,255	163,191	164,214	168,558	169,597	165,926	171,158	175,069	172,832
OH		3,088	4,237	3,161	3,151	1,942	3,114	4,497	0,000	1,186	1,877	1,583	0,380	2,505
O + OH		165,024	160,904	168,105	167,360	171,198	166,306	168,711	168,558	170,783	167,803	172,741	175,449	175,337

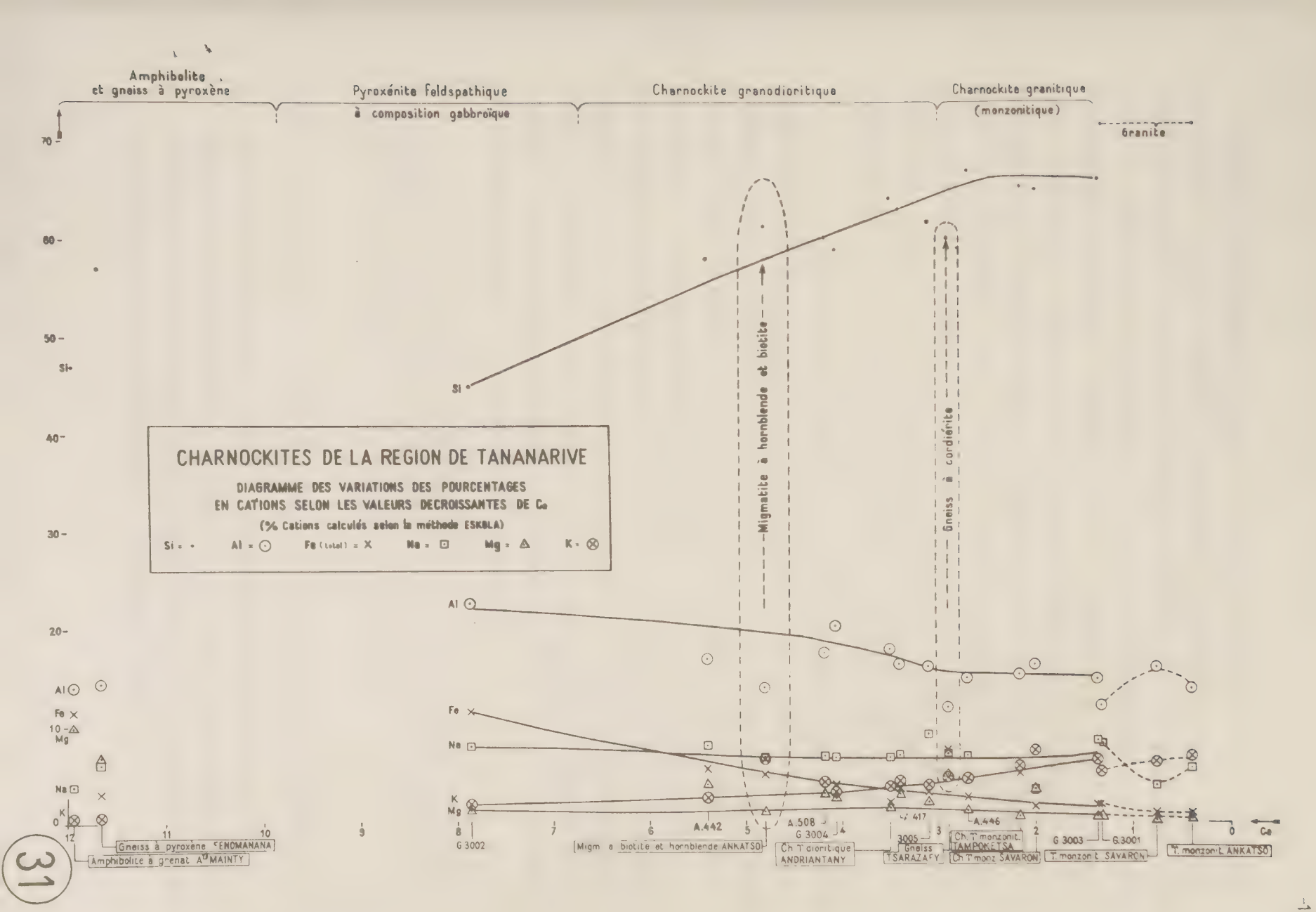
CHARNOCKITES DE LA REGION DE TANANARIVE

Tableau des pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA

Nº	40	41	42	43	44	45
Indicatif	A.442	A.508	A.433	A.432	A.417	A.446
Si	58,136	60,104	63,411	62,674	62,887	67,251
Al	16,652	17,287	16,920	17,134	16,306	14,807
Fe(total)	5,250	3,946	2,612	2,910	3,168	2,451
Mg	3,690	2,816	1,947	2,382	2,814	1,254
Ca	5,425	4,175	3,732	3,604	3,415	2,697
Na	7,869	6,808	6,290	6,965	6,898	6,781
K	2,291	4,381	4,745	3,934	4,129	4,472
Ti	0,598	0,419	0,287	0,324	0,311	0,240
Mn	0,088	0,064	0,055	0,072	0,072	0,047
O/100 cations	164,605	165,546	167,946	167,571	167,422	170,493


Amphibolite et gneiss à pyroxène
Pyroxénite feldspathique à composition gabbroïque
Charnockite granodioritique
Granite
Charnockite granitique (monzonitique)
Gneiss à cordiérite
Migmatite à biotite et hornblende
CHARNOCKITES DE LA REGION DE TANANARIVE
Diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs croissantes de K x 10
(% cations calculés selon la méthode Eskola)
Si = • Al = ⊙ Fe = × Mg = △ Ca = ⊡ Na = ⊗
Si
Al
Fe
Ca
Mg
Na
K x 10
G.3002
A.442
G.3004
G.3005
A.417
A.508
A.446
G.3001
G.3003
Ch. Y TAMPOKETSA
Y ch. monzonit. SAVARON
Y monzonit. ANKATSO
Y monzonit. SAVARON
Gneiss à pyrox ATOMAINTY
Amphib. à grenat FENOMANANA
Ch Y dioritique ANDRIANTANY
Gneiss à cordiér TSARAZAFY
Mm² et hornbl. ANKATSO

30


Amphibolite et gneiss à pyroxène
Pyroxénite feldspathique à composition gabbroïque
Charnockite granodioritique
Charnockite granitique (monzonitique)
Granite
CHARNOCKITES DE LA REGION DE TANANARIVE
DIAGRAMME DES VARIATIONS DES POURCENTAGES EN CATIONS SELON LES VALEURS DECROISSANTES DE Ca
(% Cations calculés selon la méthode ESKOLA)
Si = • Al = ⊙ Fe (total) = X Na = ⊡ Mg = △ K = ⊗
Migmatite à hornblende et biotite
Gneiss à cordiérite
Si
Al
Fe
Na
K
Mg
Ca
70
60
50
40
30
20
10
0
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Gneiss à pyroxène SENOMANANA
Amphibolite à grenat AUMAINTY
G 3002
A.442
Migm à biotite et hornblende ANKATSO
A.508
G 3004
Ch T dioritique ANDRIANTANY
3005
Gneiss TSARAZAFY
417
A.446
Ch T monzonit. TAMPONKETSA
Ch T monz SAVARON
G 3003
G.3001
T. monzonit SAVARON
T. monzonit ANKATSO

31

E.- FACIES DE METAMORPHISME.- La paragenèse observée dans les granites et migmatites de Tananarive, en particulier ceux qui enveloppent la zone charnockitique d'Ilafy, à hornblende, biotite et microcline, rapporte le faciès de métamorphisme de ces formations au faciès amphibolite. La présence de cordiérite fait penser au subfaciès sillimanite-cordiérite-muscovite-almandin du faciès cordiérite-amphibolite de type Abukuma ; ceci expliquerait d'ailleurs la séricitisation des feldspaths plagioclases. Le report des paramètres A'FK(1) de ce subfaciès est conforme à ce que l'on attendait (cf. planche 32, page123).

En ce qui concerne les charnockites, nous avons vu précédemment qu'il y a eu rétromorphose résultante de l'influence de la granitisation. Cependant, il n'est pas difficile de voir leur faciès de métamorphisme originel. En effet, la présence d'une paragenèse à orthose, diopside-hédenbergite, hornblende et hypersthène fait tout de suite penser au faciès granulite et en particulier au subfaciès hornblende-granulite. Ceci est confirmé par le report des données des analyses chimiques des charnockites sur le diagramme A'FK(1) de ce faciès de métamorphisme (cf. planche 33, page124).

Nous retrouvons donc ici le même faciès de métamorphisme originel des charnockites que dans les régions de Soavinandriana-Betafo et de Manakambahiny-Est.

---

(1) Nous ne donnons ici que le diagramme A'FK, du fait de la présence de la biotite. N'ayant pas eu la possibilité de faire des corrections sur les valeurs de F, nous avons jugé inutile de représenter le diagramme ACF.

GRANITES ET MIGMATITES REGION TANANARIVE

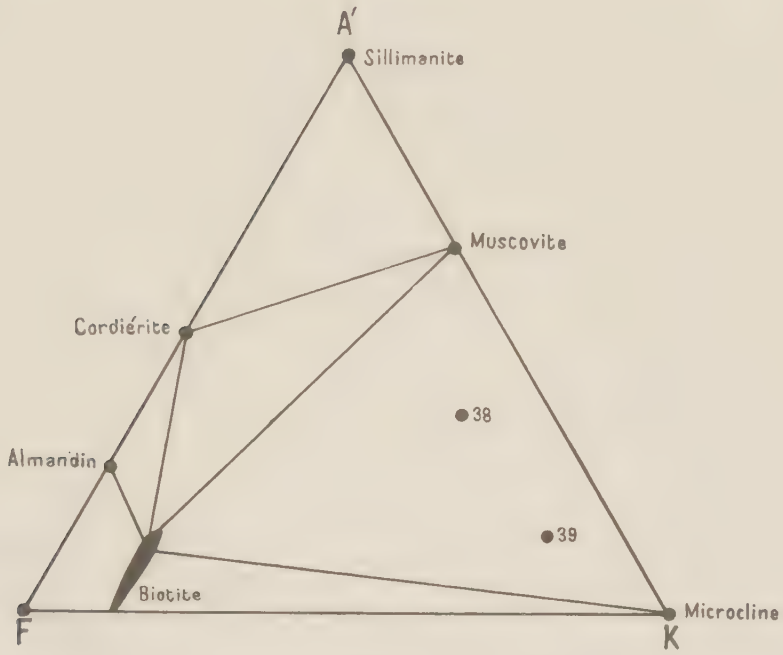


Diagramme A'F K

Faciès cordiérite-amphibolite de type Abukuma

Subfaciès sillimanite-cordiérite-muscovite-almandin (A.2.2.)

Nº Analyse (1)	A'	F	K
38	35	16	49
39	13	14	73

(1) Cf. Référence analyses = Pl. 22

CHARNOCKITES REGION TANANARIVE

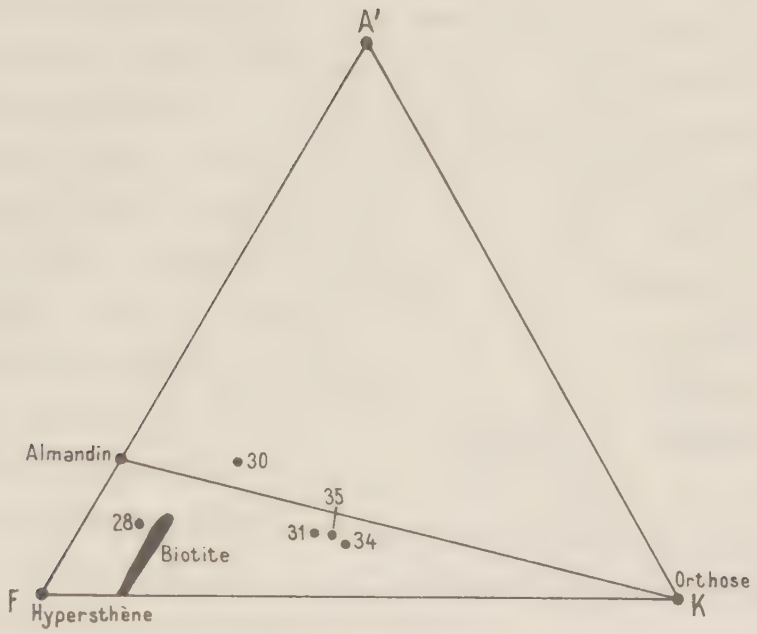


Diagramme A'FK

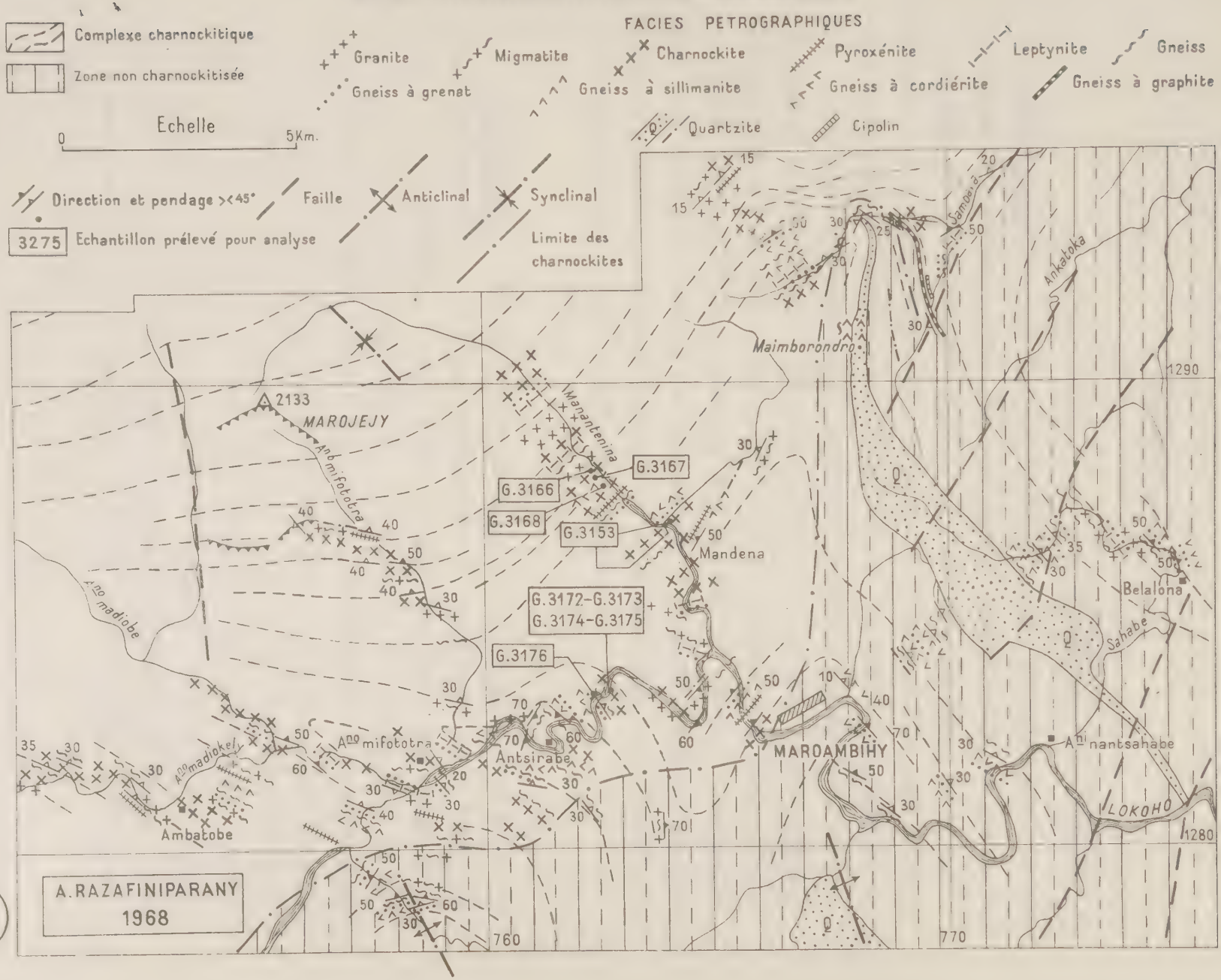
Faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite

Nos Analyses (1)	A'	F	K
28	13	78	9
30	25	57	18
31	12	52	36
34	10	48	42
35	12	49	39

(1) : Cf. Référence analyses Pl.22

F.- CONCLUSION SUR LES CHARNOCKITES DE LA REGION DE TANANARIVE.-
Les charnockites de Tananarive sont en enclaves résiduelles au sein des granites et migmatites, donc antérieures à la granitisation, et présentent de ce fait des signes évidents de rétromorphose. Mais, tout comme dans les cas de Soavinandriana-Betafo et de Manakambahiny-Est, la charnockitisation s'est effectuée dans le faciès hornblende-granulite. Cette charnockitisation comporte également ici la granitisation de roches à composition gabbroïque suivie d'une métasomatose alcaline. Mais alors qu'il a été assez facile dans les cas précédents de déterminer la nature des roches originelles grâce à l'existence de résidus peu transformés, ici par contre, il ne nous a pas été possible de tomber sur des roches associées peu transformées. Pourtant des anciens auteurs ont signalé la présence de gabbros à olivine, diopside et hypersthène, c'est-à-dire ayant déjà subi une légère transformation, et comparables aux gabbros d'origine intrusive, à l'état résiduel dans le complexe de l'Alaotra et également au sein du massif charnockitique de Soavinandriana-Betafo. Les affleurements de ces roches ont aujourd'hui disparu. Mais il y a lieu de penser que les charnockites de Tananarive, originellement, dériveraient de ces gabbros. Dans tous les cas, l'existence d'intrusions gabbroïques, roches anhydres, est nécessaire car elle permet d'expliquer la présence du faciès minéral observé qui est du type hornblende-granulite, au sein d'un fond géologique régional appartenant au faciès amphibolite (gneiss à diopside et sphène, amphibolite à grenat, gneiss à sillimanite et cordiérite).

LES CHARNOCKITES DE MAROJEJY



34

Chapitre IV

LE MASSIF DES MAROJEJY

A.- LOCALISATION.- Les Marojejy constituent un imposant massif montagneux couvert d'une épaisse forêt située dans la partie Nord-Est de l'Ile, entre Andapa et Sambava, et dont le point culminant, le Marojejy Est, atteint 2137 mètres. Il est à cheval sur quatre coupures au 1/100.000 de la carte géographique de l'Institut géographique national, comprenant au Nord les feuilles Doany (W.35) et Sambava (XY.35), au Sud les feuilles Andapa (W.36) et Maroambihy (XY.36). La partie que nous avons étudiée correspond aux parties Sud et Est du massif localisées sur les feuilles Andapa et Maroambihy et couvre environ le rectangle délimité par les parallèles 1278 et 1295, d'une part, et par les méridiens 750 et 775 de l'autre.

B.- HISTORIQUE.- Les travaux géologiques se rapportant à la région des Marojejy sont peu nombreux. Le premier lever connu est celui de A.LENOBLE en 1935-1936 sur les feuilles Antalaha et Andapa. Deux cartes géologiques en couleur au 1/200.000 en furent établies. Mais, étant donné les difficultés de pénétration, la zone concernée étant couverte d'épaisses forêts, les mailles d'itinéraires étaient assez larges. Aussi ces cartes étaient-elles plutôt des cartes d'itinéraires que de véritables cartes géologiques. Cependant, en 1937, en faisant beaucoup d'intrapolations, A.LENOBLE dressa une esquisse structurale de la région de Maroantsetra-Antalaha-Andapa. De cette synthèse, 3 séries furent distinguées :

1) Le Socle ancien formé de paragneiss normaux, gneiss grenatifère, orthogneiss.

2) La Série du Vohimena constituée de la base au sommet de gneiss amphiboliques et pyroxéniques, de cipolins et amphibolites, de micaschistes.

3) La Série des Schistes et quartzites représentée par des quartzites.

Ce qui nous intéresse dans les travaux de A.LENOBLE, c'est le socle ancien qui constitue "les bords de la Lokoho" et la base du massif des Marojejy. Cet auteur y distingue des paragneiss à grenat et sillimanite et des orthogneiss auxquels il rattache les "gneiss à amphibole, hypersthène et grands éléments de plagioclase, peu quartziques et à faciès malgachitique".

- En 1948-49, P.BRENON procéda au lever géologique au 1/200.000 des feuilles Andravory (352) et Sambava (353). Les résultats de ces travaux furent rapportés dans "Documentation pour les feuilles Andravory et Sambava", 1950 (Archive A.322 du Service Géologique) et repris dans le mémoire "Contribution à l'étude pétrographique et géologique des Terrains cristallins de Madagascar dans les régions de l'Antsihanaka, de l'Antanosimboahangy dans les bassins de la Bemarivo et de la Fanambana" (P.BRENON, Thèse Nancy, 1952). Dans la région étudiée qui englobe la partie septentrionale du massif des Marojejy, P.BRENON distingue :

1º) des paragneiss (gneiss à biotite ; gneiss à grenat et sillimanite ; para-amphibolites sans pyroxène, à hornblende verte et sphène ; para-pyroxénite à diopside, hornblende verte, sphène et wernérite rare ; amphibolite et quartzite à épidote ; micaschiste à muscovite ; quartzite à sillimanite).

2º) des malgachites (surtout dans la majeure partie de la face Nord des Marojejy) de composition très variée, à quartz constant mais en faible quantité. On peut remarquer qu'ici P. BRENON signale la présence dans ces roches, du microcline au lieu de l'orthose habituel. Cet auteur mentionne également la dominance de la biotite sur les éléments colorés ainsi que la présence de hornblende verte. Le pyroxène est généralement de l'hypersthène, quelquefois du diallage.

3º) des orthopyroxénites à plagioclase altéré, augite vert pâle associée à de la hornblende verte souvent prédominante en larges plages, parfois de l'hypersthène, un peu de sphène et des mouches de pyrite. Il faut remarquer ici la présence du sphène et de la hornblende verte.

4º) des gneiss granitoïdes à quartz, microcline, andésine, biotite et hornblende verte.

Nous pouvons remarquer la présence dans cette zone, du grenat, hornblende verte, muscovite, sillimanite et sphène.

- Egalement en 1948-49, H.HUMBERT, lors de ses investigations botaniques dans le Massif des Marojejy, en ramena quelques échantillons pétrographiques. Bien que son expédition fût essentiellement botanique, il avait consigné dans le mémoire(1) qui en résultait, quelques observations géologiques. Il y indique que le Massif est essentiellement constitué de gneiss (gneiss granitoïde et malgachites).

---

(1) HUMBERT H., 1955.- "Une merveille de la nature à Madagascar. Première exploration botanique du Massif du Marojejy et de ses satellites".- Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar. Série B - Tome VI.

- En 1954, L.LAPLAINE procéda au lever géologique et à la prospection générale au 1/200.000 de la feuille Andapa (V.W.36-37). Les résultats de ses travaux furent publiés dans le TBG nº66, "Etude géologique de la feuille Andapa" (Service Géologique 1955). Une carte géologique en deux couleurs au 1/200.000 en fut établie et imprimée en 1955.

Dans le coin Nord-Est de sa feuille, L.LAPLAINE a cartographié le Massif des Marojejy comme étant essentiellement constitué par des "migmatites granitoïdes à structure oeillée ou porphyroïde, à grands cristaux de feldspaths", présentant "d'une manière quasi constante le faciès malgachitique" et montrant fréquemment des enclaves de gneiss plus ou moins importantes.

Cet auteur raccorde ces formations malgachitiques à celles étudiées dans la partie Nord du Massif des Marojejy par P.BRENON.

Il rattache les malgachites à des charnockites de composition granitique ou granodioritique à quartz, orthose perthitique, plagioclase, hypersthène constant, diopside, hornblende et magnétite. Il signale que les enclaves gneissiques du Massif des Marojejy sont constituées par des gneiss à pyroxène et pyroxénites, d'une part, et de l'autre, des gneiss leucocrates à grain fin ou à grenat, muscovite et sillimanite comme au sommet des Marojejy.

- En 1966 et 1967, j'ai étudié la partie Sud de ce Massif ainsi que la partie Est qui n'avait fait jusqu'ici l'objet d'aucun lever. Je me suis attaché à voir la structure du massif et les relations des charnockites avec les formations cristallophylliennes régionales.

C.- GISEMENT.- Le Massif des Marojejy dont le point culminant est à 2133 mètres d'altitude est constitué par un synclinal perché profondément entaillé, au Sud par la rivière Lokoho et ses affluents, au Nord par l'Androranga et ses affluents. Deux coupes le long de deux affluents de la Lokoho furent effectuées, l'une partant du village d'Andranomifototra sur la Lokoho, à une altitude de 80 mètres environ suivant la vallée d'Andranomifototra jusqu'au pied du pic Sud du Marojejy (2133 mètres), l'autre plus en aval partant du village de Manantenina sur la Lokoho à une altitude de 60 mètres environ et suivant la vallée de la Manantenina jusqu'à une altitude de 600 m environ. Nous avons pu ainsi constater que le Massif des Marojejy est constitué par un ensemble de couches interstratifiées, très complexe, comparable au complexe de Ranomena et comportant des formations gneissiques et leptynitiques intercalées en concordance par des formations pyroxéniques intimement associées à des charnockites. Il faut signaler ici le fait que les charnockites sont parfois associées au gneiss à sillimanite et cordiérite et que l'on peut rencontrer des faciès intermédiaires qui sont de véritables charnockites à cordiérite et sillimanite.

La puissance des bancs charnockitiques doit être de l'ordre du mètre ou tout au plus de l'ordre du décamètre. Les affleurements sur lesquels on peut faire des observations sont rares. Dans le fond des vallées, les lits des rivières sont engorgés par des différents blocs venant de l'amont. Sur les flancs des vallées, la couverture est importante. Cependant, vu les variations rapides des faciès rencontrés dans les petits et rares affleurements en place, il y a lieu de penser que les couches ne sont pas épaisses. Dans la vallée de l'Andranomifototra, au pied du pic Sud (2133 mètres), sur un des rares bed-rocks qui sont souvent dégagés, nous avons pu observer un banc de 2 mètres

de puissance environ, intercalé en concordance entre des formations leptynitiques et constitué par un ensemble pyroxénite-charnockite.

J'ai essayé de voir l'extension des formations charnockitiques au Sud et à l'Est du Massif des Marojejy.

Bien que les directions indiquent que les formations du Marojejy doivent se prolonger au Sud et à l'Est du massif, j'ai pu constater que les charnockites sont limitées au Massif du Marojejy. Tout se passe comme s'il y existe une limite de charnockitisation qui ceinture ce massif. Le lever des zones au Sud de la Lokoho et à l'Est du village de Maroambihy montre que l'on y retrouve les leptynites et les gneiss à cordiérite, sillimanite et grenat. Mais, par contre, il n'y a pas là les pyroxénites qui sont généralement associées aux charnockites. L'examen de la carte géologique obtenue suggère que cette frappante variation latérale de faciès semble être liée à la structure régionale. A première vue, les formations basiques, pyroxéniques, paraissent localisées uniquement dans les structures synclinales ; il en est de même des formations charnockitiques. Cette constatation peut être faite d'ailleurs dans les autres massifs de charnockite qui ont été étudiés. Ainsi les massifs de charnockite de Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est et Tananarive sont en position synclinale. J.GOGUEL (in Tectonique 1962) attribue à des phénomènes mécaniques normaux la localisation des roches lourdes dans les zones synclinales lors des plissements. Une telle explication s'applique très bien ici, dans le cas des massifs charnockitiques, du fait que ces roches sont toujours en liaison avec des roches basiques, donc lourdes.

D.- PETROGRAPHIE.- Les faciès pétrographiques rencontrés dans le Massif des Marojejy comportent des leptynites, des quartzites, des gneiss (à biotite, grenat, sillimanite et cordiérite), des pyroxénites et des charnockites, et enfin des granites en bancs stratoïdes de faible puissance.

I - LES LEPTYNITES.- Ce sont des roches leucocrates, blanches, orientées, à quartz aplati.

La composition minéralogique moyenne comprend : quartz - oligoclase - microcline et microcline perthitique - myrmékite - grenat - et accessoirement apatite, magnétite et zircon. La structure est hétéroblastique. Souvent le plagioclase est séricitisé. (Certaines lames présentent de la muscovite). La structure est alors porphyroblastique, présentant des porphyroblastes de quartz.

II - LES QUARTZITES.- Les bancs de quartzite sont fréquents. Ils ont des épaisseurs allant de quelques centimètres à quelques centaines de mètres. Ce sont des quartzites à gros grain vitreux, parfois ferrugineux. Ils renferment fréquemment de la sillimanite et parfois de la sillimanite et de la muscovite. Ce type à muscovite se rencontre surtout à l'Est du Massif des Marojejy et constitue la grande chaîne quartzitique orientée NW-SE, entre Belalona et Maroambihy.

III - LES GNEISS.- Ils sont de types très variés et se prolongent en direction au Sud et à l'Est du Massif, mais non associés aux charnockites.

1º- Les gneiss à biotite.- Ce sont des roches à grain moyen, litées, dont la composition minéralogique moyenne est : quartz - orthose - oligoclase - andésine - myrmékite - biotite - et accessoirement apatite, magnétite et zircon. Le grenat est parfois présent. On peut aussi avoir la présence de grenat et de graphite (khondalite). La structure est hétéroblastique.

2º- Les gneiss à sillimanite, cordiérite et grenat.- Ils sont de coloration généralement grise, à grain moyen parfois grossier et ont une texture orientée, presque litée. La sillimanite se présente en aiguilles soyeuses et blanches, la cordiérite, en traînées bleu violacé ou en gros cristaux bleu violacé. Le grenat est toujours en cristaux arrondis, généralement roses.

L'étude au microscope des lames minces de ces roches montre : quartz - microcline et microcline perthitique - plagioclase et plagioclase séricitisé - sillimanite - biotite brune - grenat - cordiérite - et accessoirement magnétite et zircon. Parfois, on peut noter la présence d'un spinelle vert (hercynite). La structure est hétéroblastique.

Le grenat, en certains endroits, est en gros cristaux et la roche passe alors à une grenatite. Entre Andranomifototra et Maroambihy, près du village Antsirabe sur la route Sambava - Andapa, on peut observer un grand développement de la cordiérite.

IV - LES PYROXENITES.- Ce sont des roches noires à grain moyen, orientées. Leur composition minéralogique moyenne est la suivante : plagioclase basique allant de l'andésine au labrador - hypersthène - pyroxène monoclinique vert non pléochroïque abondant (angle d'extinction supérieur à 40º ; il s'agit d'un pyroxène

de la série diopside-hédenbergite) - biotite brune - et accessoirement ilménite, apatite, zircon. La structure est granoblastique.

La hornblende peut être observée dans certaines lames. Sa présence n'est pas constante comme dans le cas des pyroxénites associées aux charnockites que nous avons vues jusqu'à maintenant. Cependant, lorsqu'elle est absente, le pyroxène est généralement ouralitisé.

L'hypersthène est constant, tant et si bien que la limite hypersthène-charnockite basique est très difficile à déterminer, d'autant plus que ces pyroxénites feldspathiques sont intimement associées sur le terrain aux charnockites. Cependant, le fait que ces roches sont très riches en biotite conduit à penser qu'elles sont à l'état résiduel.

Les <u>pyroxénites à wernérite</u> et les <u>gneiss à pyroxène, wernérite et sphène</u> existent. Ils ne sont pas associés aux charnockites. Ils se distinguent des pyroxénites feldspathiques associées aux charnockites par leur texture fine, orientée aussi, mais massive sans cette apparence schisteuse des pyroxénites associées aux charnockites, apparence due à l'abondance des cristaux de biotite.

Nous avons rencontré ces pyroxénites à wernérite et sphène en deux endroits, au Nord du village Mandena sur la piste Mandena à Ambodivohitra, dans la partie Est du massif et entre Ambatobe et Antanimarina, dans le Sud du massif.

Elles sont composées de diopside - bytownite - labrador - wernérite - sphène - calcite - magnétite.

P.BRENON signale la présence fréquente de ces roches dans la partie Nord du massif et donne la composition suivante :

quartz petit et rare - bytownite séricitisée - microcline petit, frais, bien quadrillé - scapolite - diopside - hornblende verte et sphène.

V - LES CHARNOCKITES.- Elles sont de types très variés, allant des types gabbroïques, dioritiques aux types granitiques et syénitiques.

1º- Les charnockites gabbroïques.- Ce sont des roches noires à grain moyen ou fin, très riches en ferromagnésiens (pyroxène et amphibole), à feldspath présentant la coloration charnockitique (verdâtre). L'étude au microscope polarisant des échantillons donne la composition minéralogique moyenne suivante : plagioclase basique allant de l'andésine au labrador - hypersthène - pyroxène monoclinique verdâtre non pléochroïque (série diopside-hédenbergite) et accessoirement apatite, magnétite. La structure est granoblastique. On peut noter parfois la présence de hornblende brune. L'hypersthène est généralement plus ou moins ouralitisé.

2º- Les charnockites dioritiques.- Il s'agit là de roches noires à grain moyen, orientées, présentant du quartz et du feldspath de coloration verdâtre charnockitique. Les ferromagnésiens sont abondants. La composition minéralogique moyenne de ces roches comprend : quartz - plagioclase allant de l'andésine à l'oligoclase - hypersthène - pyroxène de la série diopside-hédenbergite - hornblende (quelquefois) - biotite brune - et accessoirement magnétite et zircon. La structure est granoblastique. On observe généralement une certaine ouralitisation de l'hypersthène.

3º- Les charnockites granitiques.- Elles sont généralement à grain moyen, orientées presque litées. Les feldspaths sont de coloration verdâtre ou bleu-vert (coloration charnockitique) quand l'échantillon est frais ou bien brun-jaune malgachitique quand l'échantillon a déjà subi une certaine altération. Parfois ces roches présentent des grains hétérogènes, quelquefois même porphyroïdes à porphyroblastes de feldspaths charnockitiques. Dans ce cas l'orientation est partiellement détruite.

Minéralogiquement, ces roches sont constituées de : quartz - orthose perthitique - myrmékite - oligoclase - hypersthène - biotite - et accessoirement apatite, magnétite et zircon. On note parfois l'existence de pyroxène monoclinique de la série diopside-hédenbergite et de hornblende brune ou de grenat. La structure est hétéroblastique ou porphyroblastique. L'hypersthène est très souvent ouralitisé.

Dans les faciès porphyroïdes, le quartz devient rare. On a là le passage vers les charnockites syénitiques.

4º- Les charnockites syénitiques.- Ce sont des roches à grain généralement grossier, essentiellement constituées de feldspaths avec très peu de ferromagnésiens. La roche fraîche présente une coloration bleu-vert caractéristique due à celle des feldspaths qui, très vite, à l'air libre devient vert sombre à brun-jaune, teinte caractéristique du faciès malgachitique. La roche altérée présente d'ailleurs cette coloration brun-jaune à jaune miel du faciès malgachitique. Il faut signaler ici que les charnockites présentent toujours à l'affleurement une croûte de 1 à 2 centimètres environ d'épaisseur, décolorée, ayant un aspect granitique ou syénitique normal, dont il faut décortiquer la surface pour mettre à jour le caractère charnockitique.

Les charnockites syénitiques présentent en gros une certaine orientation, mais cette orientation s'estompe dans les types porphyroïdes du fait que les porphyroblastes de feldspath sont orientés dans tous les sens ; l'orientation disparaît dans les faciès à gros grain, homogènes.

Minéralogiquement, les charnockites syénitiques comportent : quartz rare ou absent, orthose bien développé, myrmékite, hypersthène, biotite et accessoirement apatite, magnétite et zircon. Parfois, on note la présence de hornblende brune et du pyroxène monoclinique de la série diopside-hédenbergite. La structure est porphyroblastique. L'hypersthène est souvent ouralitisé.

D'une façon générale, il est bien difficile optiquement de déterminer la nature du feldspath potassique. Cette détermination est rendue d'autant plus difficile que, dans les charnockites, ce type de feldspath est souvent perthitique. En l'absence du moirage caractéristique du microcline, nous avons toujours donné le terme d'orthose à ces feldspaths. Nous donnerons plus loin un peu plus de précision sur la nature cristalline de ces feldspaths, après étude des diffractogrammes aux RX de ces minéraux.

Jusqu'ici, nous avons toujours rencontré de l'orthose dans les charnockites. Cependant, dans la partie Nord-Est du Massif des Marojejy, dans la vallée de la haute Sambava, nous avons rencontré un type syénitique à microcline. Cette roche comporte : quartz très rare, microcline, oligoclase, diopside-hédenbergite, hypersthène, hornblende, grenat, apatite, magnétite et zircon.

Dans la partie Nord du Massif, dans la vallée de la basse Ambodizavy, au Sud du Mahembahemba, P.BRENON a signalé également la présence de microcline à quadrillages nets.

VI - RELATION CHARNOCKITE-PYROXENITE.- D'une façon générale, les charnockites sont intimement associées aux pyroxénites et il est impossible de donner une représentation cartographique de cette association. D'autre part, l'absence de grande carrière ou bien de grand affleurement dégagé ne permet pas de déterminer si ces pyroxénites sont en bancs interstratifiés ou en enclaves résiduelles au sein des charnockites. Nous verrons plus loin que les observations pétrographiques combinées avec les caractères chimiques nous conduisent plutôt à penser à des enclaves résiduelles légèrement modifiées, mais seuls témoins de formations préexistantes qui ont résisté à la charnockitisation.

Dans la vallée de l'Andranohasina, au pied du pic Sud des Marojejy, nous sommes tombés sur un bloc de roche qui montrait deux parties, l'une charnockitique, l'autre pyroxénitique. Le contact est net.

L'examen a montré :

1º) La partie pyroxénique est de texture gneissique, à grain fin, de coloration noire et très riche en ferromagnésiens. Au microscope, elle présente : andésine, diopside-hédenbergite, biotite brune bien automorphe et recoupant les cristaux de pyroxène, hypersthène ouralitisé, hornblende, augite en gros cristaux cataclastiques résiduels et accessoirement apatite, magnétite, zircon. La structure est granolépidoblastique. Le fait que les cristaux de biotite recoupent les cristaux de pyroxène indique qu'ils sont postérieurs à ces derniers. Ceci montre que les pyroxénites sont biotitisées.

2º) La partie charnockitique est leucocrate, à grain plus gros (moyen), à texture granitoïde et est plus pauvre en ferromagnésiens. La coloration est charnockitique, verdâtre

(coloration due à celle des cristaux de quartz et de feldspath qui est verdâtre ou vert-jaunâtre). Au microscope, l'on voit : quartz, orthose plus ou moins perthitique, oligoclase, myrmékite, hypersthène, diopside-hédenbergite, pyroxène ouralitisé, biotite, ilménite, pyrite et magnétite. La structure est porphyroblastique (porphyroblastes de quartz et d'orthose perthitique).

3º) Conclusion de cette étude : Il nous semble que la charnockite résulte de la granitisation de la pyroxénite et que cette dernière ici se présente en état d'enclave résiduelle.

D'autre part, la pyroxénite est à hypersthène et augite. Elle dériverait donc probablement d'une formation gabbroïdique à composition noritique prise dans le métamorphisme régional qui est nettement du faciès amphibolite, ce qui explique clairement l'ouralitisation de l'hypersthène et de l'augite.

De ce fait, la charnockite des Marojejy résulterait donc de la granitisation de roche gabbroïdique qui renfermait déjà à l'origine de l'hypersthène ; cette granitisation s'est effectuée dans la zone du faciès amphibolite.

VII - RELATION CHARNOCKITE-GNEISS A SILLIMANITE ET CORDIERITE.- Jusqu'ici, on a vu que la charnockitisation est un phénomène sélectif qui affecte essentiellement les formations pyroxéniques à composition gabbroïque. D'une façon générale, les quartzites et les gneiss à cordiérite et sillimanite résistent à la charnockitisation. On a toujours considéré que l'association de l'hypersthène avec la cordiérite est très rare. Mais de plus en plus, on constate qu'il n'en est rien.

Tout récemment, de WAARD a établi une subdivision du faciès granulite basée sur les variations relatives de la pres-

sion des solides et de la pression des fluides. Il a été amené ainsi à créer les subfaciès biotite-cordiérite-almandin et cordiérite-almandin caractérisés par une faible pression des solides et qui seraient intermédiaires entre le faciès hornblende-granulite et le faciès amphibolite.

Dans le massif des Marojejy, les charnockites sont assez fréquentes ; les gneiss à cordiérite et sillimanite sont abondants. En maints endroits, nous avons rencontré des charnockites à cordiérite et sillimanite. Cependant nous ne pensons pas que nous soyons ici dans le subfaciès biotite-cordiérite-almandin du faciès granulite. La présence de muscovite et de sphène dans la région, ainsi que celle de cordiérite et sillimanite et l'ouralitisation des pyroxènes, nous amènent plutôt à penser au faciès amphibolite du type Abukuma, subfaciès sillimanite-cordiérite-orthose-almandin, subfaciès avec tendance cependant vers la zone moins profonde du subfaciès sillimanite-cordiérite-muscovite-almandin.

C'est pour cette raison d'ailleurs qu'une différenciation par anatexie d'un gneiss à orthose et hypersthène (paléosome) en charnockites (néosome) et pyroxénites feldspathiques (restite) ne nous semble pas possible. De même, la présence des charnockites à cordiérite et sillimanite ne s'explique pas ici par simple métamorphisme (type de WAARD).

Sur le terrain, il ne nous a pas été possible de voir un contact charnockite-gneiss à cordiérite. Mais le fait que les charnockites à cordiérite et sillimanite soient à proximité des charnockites, d'une part, et des gneiss à cordiérite de l'autre, nous amène à penser que ces charnockites à cordiérite se situeraient au contact.

Ces dernières sont des roches à grain moyen, oeillées, dont les yeux sont constitués par de petites amandes quartzo-

feldspathiques de coloration charnockitique. Entre les amandes, on a des lits ferromagnésiens riches en biotite. A l'oeil nu, on note la présence de sillimanite, grenat et cordiérite. Parfois ces roches sont rubanées. La composition minéralogique moyenne est la suivante : quartz - orthose perthitique - plagioclase séricitisé ou antiperthitique - myrmékite - biotite brune - grenat - sillimanite - cordiérite - hypersthène et accessoirement apatite, magnétite et zircon. Des cristaux de spinelle vert (hercynite) peuvent être présents. La structure est porphyroblastique. La hornblende brune existe parfois. Nous en avons observé dans une lame.

VIII - LES GRANITES.- On rencontre assez fréquemment dans le Massif des Marojejy des bancs de formations granitiques. Ce sont des roches à texture grenue large, à quartz, feldspath rose et ferromagnésiens peu abondants. Leur composition minéralogique moyenne est la suivante : quartz - oligoclase - microcline et microcline perthitique - myrmékite - biotite - et accessoirement magnétite, ilménite, zircon. On note parfois la présence de hornblende et de sphène. La structure est granoblastique ou hétéroblastique. Le plagioclase est généralement séricitisé.

Ces formations témoignent d'un phénomène de granitisation postérieur à la charnockitisation. L'ouverture de la route Sambava-Andapa a montré en effet un affleurement de granite qui présente des enclaves de charnockite. Ces dernières apparaissent en taches vert sombre caractéristiques au sein du granite de coloration claire à feldspath rose.

IX - CONCLUSION.- L'étude du Massif des Marojejy (gisement et pétrographie) montre que les charnockites sont ici en gisement

cristallophyllien. Le fait que ces roches se présentent en bancs interstratifiés au sein de formations indubitablement d'origine sédimentaire (quartzites à muscovite et sillimanite, gneiss à cordiérite et sillimanite, à grenat et graphite, à pyroxène, sphène et wernérite) incite à leur attribuer une origine para. Cependant, la présence constante de l'hypersthène jusque dans les pyroxénites feldspathiques associées aux charnockites et la présence d'augite résiduelle à côté de l'hypersthène dans ces pyroxénites feldspathiques, nous amènent plutôt à attribuer aux charnockites de Marojejy une origine à partir de roches gabbroïdiques noritiques en sills ou en couches interstratifiées au sein de la série sédimentaire métamorphisée dans le faciès amphibolite. L'ouralitisation de l'hypersthène ou l'apparition parfois de la hornblende indique que l'hypersthène existait avant le métamorphisme.

Certes, l'on pourrait penser à une origine para avec un métamorphisme antérieur ayant atteint le faciès granulite qui aurait fait apparaître la paragenèse à hypersthène, puis un deuxième métamorphisme du faciès amphibolite aurait entraîné l'ouralitisation des pyroxènes. Cependant l'absence d'hypersthène ouralitisé dans les formations gneissiques du Marojejy ainsi que l'absence d'ouralitisation des pyroxènes, des gneiss et pyroxénites à diopside, hornblende et sphène rencontrés dans le Massif des Marojejy, indiquent que s'il y a eu polymétamorphisme, les métamorphismes antérieurs n'auraient pas atteint le faciès granulite, mais tout au plus le faciès le plus profond du faciès amphibolite. L'hypersthène que l'on rencontre dans les pyroxénites à hypersthène et dans les charnockites était donc dans les roches gabbroïdiques noritiques originelles. D'autre part, le fait que les gneiss et pyroxénites à diopside et sphène, toujours à wernérite, c'est-à-dire d'origi-

ne para, soient sans hypersthène et ne soient pas associés directement aux charnockites, semble apporter une preuve de plus à l'origine ortho à partir de roches gabbroïdiques, des charnockites de Marojejy.

Nous pensons qu'ici, les charnockites à cordiérite sont dues à un phénomène de contact consécutif à la charnockitisation. Le fait que ces charnockites à cordiérite se présentent entre les gneiss à pyroxène et les charnockites très évoluées (granitiques et syénitiques) paraît le prouver. Il faut souligner d'ailleurs que dans ces charnockites à cordiérite, l'hypersthène est bien automorphe et bien frais et ne montre aucune trace d'ouralitisation. Nous ne pensons pas que nous soyons ici dans le subfaciès biotite-cordiérite-almandin du faciès granulite défini par de WAARD. Le contexte géologique général et en particulier la présence de muscovite en sont nos arguments principaux.

Nous avons constaté au cours de nos études pétrographiques du Massif de Marojejy, différents types de charnockites : des types gabbroïque, dioritique, granodioritique, granitique et syénitique. Les conditions de terrains ne nous ont pas permis de voir les relations entre ces différents types. Mais l'association de ces roches avec les pyroxénites feldspathiques à hypersthène nous fait penser à la granitisation de ces pyroxénites et que les différents types indiqués précédemment représentent les stades successifs de cette granitisation. La présence fréquente des faciès porphyroïdes dans le type granitique avec grand développement de feldspaths alcalins et passage au type syénitique, semble indiquer une métasomatose alcaline consécutive à cette granitisation.

E.- CARACTERES CHIMIQUES.- 10 analyses[1] ont été effectuées au Laboratoire d'Analyses Minérales et d'Essais Industriels de la Direction des Mines et de l'Energie de Tananarive.

Nous donnons à la suite :

1º) Un tableau groupant les résultats des analyses pondérales avec les valeurs des paramètres de LACROIX ainsi que des paramètres de NIGGLI.

2º) Un tableau montrant les pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA.

3º) Un diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs décroissantes de Ca.

I - REMARQUES GENERALES.- Dans l'ensemble, les analyses chimiques des charnockites de Marojejy sont comparables à celles de Soavinandriana-Betafo dont l'origine est probablement ortho. Seule l'analyse nº63 présente une teneur élevée en Al_2O_3 qui semble anormale, due probablement à une erreur analytique (la roche ne présente ni sillimanite, ni corindon).

II - INTERPRETATION.- Lorsque l'on prend les valeurs décroissantes de Ca, les différentes formations se classent de la façon

---

(1) Les analyses 65 et 70 nous semblent anormales en ce qui concerne la valeur de CaO pour cette dernière et celle de Fe_2O_3 pour la première. Mais comme la précision de ces analyses est de l'ordre de 0,5 % et que ces valeurs doivent être inférieures ou voisines de celle de la limite de précision, il n'y a rien d'étonnant à ce qu'elles soient nulles. De ce fait, il faut ne voir ici que des ordres de grandeurs.

suivante : charnockites gabbroïques - charnockites granodioritiques - charnockites syénitiques - charnockites à cordiérite et sillimanite - gneiss à cordiérite et sillimanite.

Le diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs décroissantes de Ca présentent deux parties :

a) la première partie comporte l'ensemble qui va des charnockites gabbroïques aux charnockites syénitiques. Nous constatons que :

- des charnockites gabbroïques aux charnockites granodioritiques, Si présente un accroissement régulier ainsi que K, Na et Al ; Mg et Fe décroissent. Ceci correspond à une granitisation ;

- des charnockites granodioritiques aux charnockites syénitiques : Si décroît, alors que Al, K et Na croissent toujours ; Fe, Mg continuent toujours à décroître. Ceci correspond à une métasomatose alcaline.

b) la deuxième partie comporte l'ensemble charnockites à cordiérite et sillimanite - gneiss à cordiérite et sillimanite. Nous constatons que l'on passe des gneiss à cordiérite et sillimanite aux charnockites à cordiérite et sillimanite par :

- un accroissement de Ca, Si, Na et K.
- une décroissance de Fe, Mg et Al.

L'on peut penser ici que la charnockitisation des gneiss à cordiérite et sillimanite correspond à une granitisation accompagnée d'une métasomatose calcique (apport de Si, Na, K et Ca, départ de Al, Fe, Mg).

Le diagramme K_2O - Na_2O - CaO que nous donnons à la suite (p.151, Pl.39) illustre cette granitisation en montrant la métasomatose alcaline.

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE MAROJEJY

ANALYSES CHIMIQUES

N°	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
INDICATIF ...	G.3175(1)	G.3166	G.3174	G.3172	G.3173	G.3150	G.3168	G.3167	G.3153	G.3176
PROVENANCE ..	MASSIF CHARNOCKITIQUE DE MAROJEJY (SAMBAVA)						MASSIF CHARNOCKITIQUE DE MAROJEJY (SAMBAVA)			
ROCHE	Charnockite gabbroïque		Ch. grano-dioritique	Charnockite syénitique quartzifère		Ch. syénitique	Ch. syénitique	Charnockite granitique à cordiérite		Gneiss à cordiérite
SiO_2	45,70	44,00	58,10	59,30	65,10	60,00	58,50	70,30	64,20	58,30
Al_2O_3	14,40	13,20	19,50	15,05	13,40	16,05	17,65	13,55	16,30	22,00
Fe_2O_3	3,15	5,40	9,20	1,70	0,00	2,50	1,75	0,35	0,70	0,40
FeO	8,35	12,05	0,50	4,90	2,70	4,45	3,30	1,60	4,60	5,20
MgO	7,30	7,90	0,50	4,65	5,70	1,50	0,90	2,00	5,60	4,20
CaO	13,80	9,20	3,50	3,35	3,40	2,80	2,20	1,10	0,70	0,00
Na_2O	2,80	3,20	1,80	5,75	5,00	4,70	5,90	5,90	2,00	4,90
K_2O	0,90	0,85	4,00	2,00	2,80	5,20	6,80	2,50	3,30	2,40
TiO_2	1,00	2,10	0,80	0,70	0,30	1,05	0,70	0,30	0,90	0,40
P_2O_5	0,05	0,22	0,40	0,19	0,40	0,20	0,13	0,06	0,20	0,50
MnO	0,19	0,15	0,00	0,09		0,07	0,08	0,05	0,00	0,00
H_2O+	0,85	1,10	0,50	0,70	0,50	0,45	0,65	0,80	0,70	0,70
H_2O-	0,85	0,45	0,20	0,55	0,20	0,55	0,70	0,50	0,10	0,20
Total	99,34	99,82	99,00	99,93	99,50	99,52	99,46	99,01	99,30	99,20
Analyste(2)	R	R	Ro	R	Ro	R	R	R	Ro	Ro
Date	9-5-66	9-5-66	11-9-67	9-5-66	11-9-67	9-5-66	9-5-66	9-5-66	11-9-67	11-9-67
C.I.P.W.	III,'6, 3(4),4'	III,5', 3,4(5)	(I)II,'4, '5,(2)3	II,5,2,4'	II,4(5), '2,4	'II,5,'2, 3'	(I)II,5(6) 1,3'	I(II),4, 1',4	II,3', 1(2),3	II,4',1',4
h	(1)2	2	(4)5	(1)2	1	2(3)	2	1(2)	1(2)	1'
k	2	3	1	1	1	1	'2	1	1	1
l	2(3)	2	1	1(2)	(1)2	'2	2	1'	1	1
m	(2)3	3	2(3)	2(3)	2	(3)4	'4	2'	2'	'3
Niggli										
si	97,29	92,96	210,64	187,10	224,86	212,75	206,93	333,29	236,56	193,37
al	18,03	16,40	41,58	27,93	27,22	33,47	36,72	37,78	35,33	42,92
fm	43,49	55,07	29,24	39,15	37,30	27,98	19,38	21,98	47,01	36,26
alk	6,99	7,68	15,57	21,58	22,88	27,89	35,55	34,63	14,89	20,80
c	31,47	20,82	13,59	11,32	12,58	10,63	8,33	5,58	2,76	0,00
ti	1,596	3,327	2,175	1,656	0,777	2,792	1,857	1,066	2,487	0,995
K	0,174	0,149	0,594	0,186	0,269	0,421	0,431	0,218	0,521	0,244
mg	0,535	0,454	0,092	0,562	0,791	0,285	0,246	0,646	0,658	0,576
p	0,044	0,196	0,612	0,253	0,583	0,299	0,194	0,120	0,311	0,700

(1) Indicatif G = Echantillon A.RAZAFINIPARANY

(2) Analystes : R = F.RUF Ro = B.ROUSSEL.

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE MAROJEJY

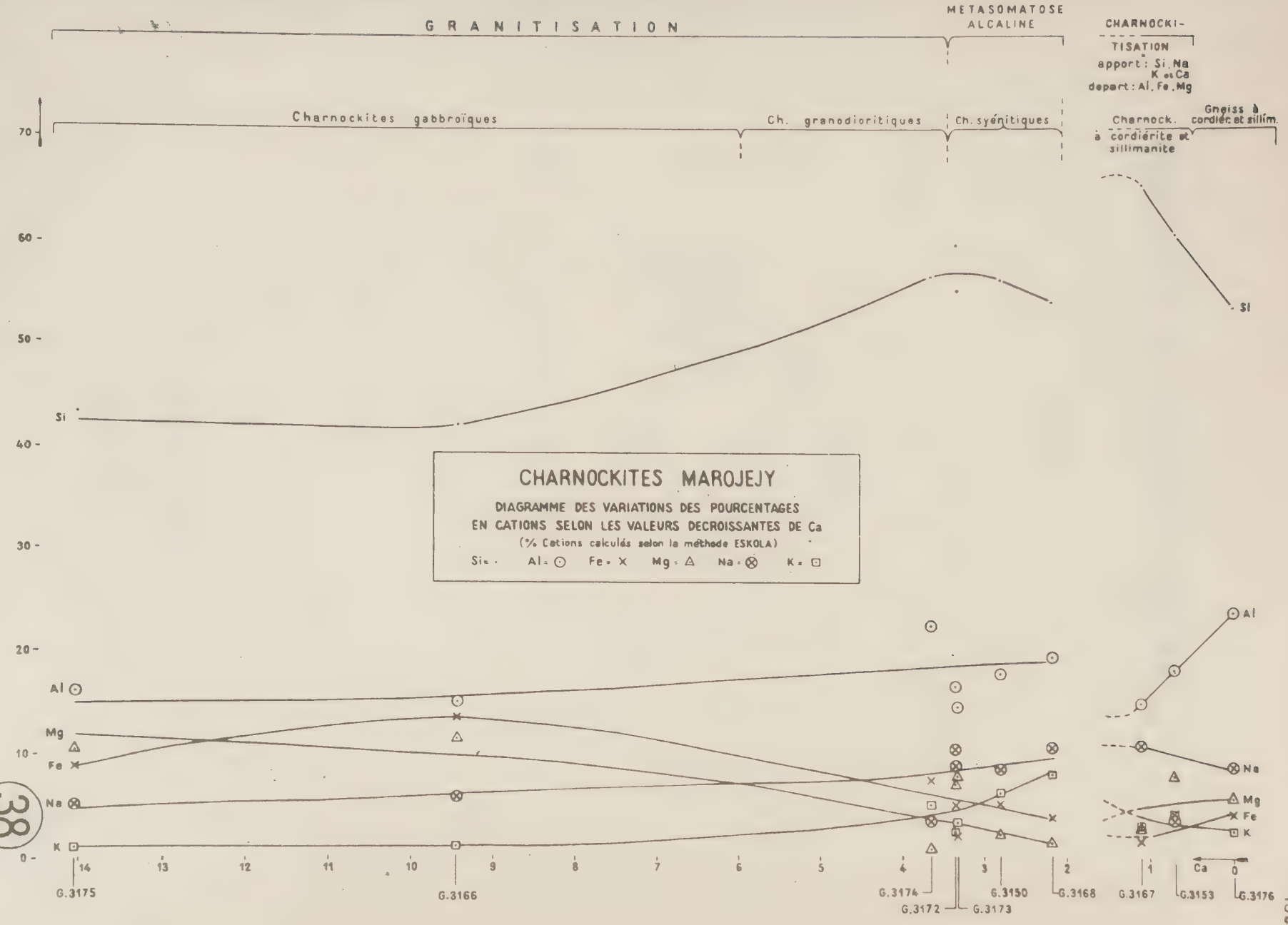
Provenance des échantillons analysés

Nº	Indicatif	Détermination pétrographique	Provenance	Coordonnées géographiques LABORDE	
				X	Y
61	G.3175	Charnockite gabbroïque	Route Sambava-Andapa près village Ambohimanarina (vallée de la Lokoho)	1283,20	777,50
62	G.3166	Charnockite gabbroïque	Massif de Marojejy	1288,30	761,80
63	G.3174	Charnockite granodioritique	Route Sambava-Andapa près village Ambohimanarina (vallée de la Lokoho)	1283,20	777,50
64	G.3172	Charnockite syénitique quartzifère			
65	G.3173	Charnockite porphyroïde syénitique quartzifère			
66	G.3150	Charnockite syénitique	Rivière Manantenina, près village Mandena	1285	764,40
67	G.3168	Charnockite syénitique porphyroïde	Massif de Marojejy	1288,10	762,15
68	G.3167	Charnockite à cordiérite et sillimanite	Massif de Marojejy	1288,15	762
69	G.3153	Charnockite à cordiérite et sillimanite	Nord village Mandena	1288	764
70	G.3176	Gneiss à cordiérite et sillimanite	Route Sambava-Andapa entre Ambohimanarina et Antsirabe (vallée de la Lokoho)	1282,20	762,20

MASSIF CHARNOCKITIQUE DE MAROJEJY

Tableau des pourcentages en cations calculés suivant la méthode ESKOLA

Nº	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Indicatif	3175	3166	3174	3172	3173	3150	3168	3167	3153	3176
Si	43,433	42,107	56,745	55,228	59,657	56,355	54,248	65,735	60,673	53,789
Al	16,100	14,861	22,406	16,490	14,446	17,735	19,255	14,906	18,123	23,876
Fe^{+++}	2,245	3,875	6,739	1,187	-	1,761	1,217	0,245	0,496	0,276
Fe^{++}	6,613	9,609	0,406	3,802	2,061	3,483	2,550	1,246	3,622	3,398
Mg	10,406	11,340	0,732	6,496	7,835	2,113	1,251	2,805	7,938	5,812
Ca	14,052	9,433	3,662	3,342	3,338	2,817	2,185	1,102	0,708	0,000
Na	5,150	5,927	3,402	10,364	8,868	8,544	10,589	10,677	3,658	8,750
K	1,091	1,038	4,987	2,377	3,275	6,235	8,049	2,984	3,981	2,826
Ti	0,712	1,507	0,586	0,488	0,206	0,739	0,486	0,210	0,637	0,276
P	0,040	0,177	0,330	0,149	0,309	0,158	0,101	0,047	0,159	0,389
Mn	0,152	0,121	-	0,070	-	0,055	0,062	0,039	-	-
O	147,565	146,258	166,577	156,235	159,952	158,283	153,795	164,267	164,835	158,787
OH	5,385	7,017	3,255	4,346	3,054	2,817	4,018	4,987	4,410	4,305
O + OH	152,950	153,276	169,832	160,582	163,007	161,101	157,814	169,254	169,245	163,093



CHARNOCKITES MAROJEJY

DIAGRAMME DES VARIATIONS DES POURCENTAGES EN CATIONS SELON LES VALEURS DECROISSANTES DE Ca

(% Cations calculés selon la méthode ESKOLA)

Si = · Al = ⊙ Fe = X Mg = △ Na = ⊗ K = ⊡

38

CHARNOCKITES DE MAROJEJY (SAMBAVA)

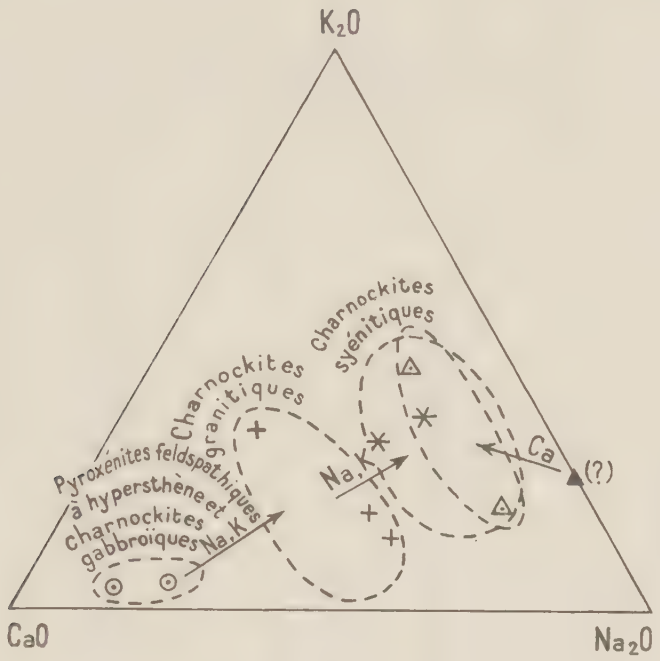


Diagramme $K_2O - Na_2O - CaO$, montrant la granitisation à partir de roches gabbroïdiques (noritiques)

⊙ Charnockites gabbroïques

+ Charnockites granitiques

✳ Charnockites syénitiques

△ Charnockites à cordiérite et sillimanite

▲ Gneiss à cordiérite et sillimanite

CHARNOCKITES DE MAROJEJY (SAMBAVA)

Diagramme K_2O - Na_2O - CaO

Nº	N a t u r e	K_2O	Na_2O	CaO
G.3175	Charnockite gabbroïque	3	15	82
3166	Charnockite gabbroïque (ou pyroxénite feldspathique) à hypersthène	4	23	73
3174	Charnockite granodioritique	32	22	46
3172	Charnockite syénitique quartzifère	12	53	35
3173	Charnockite syénitique porphyroïde quartzifère	17	47	36
3150	Charnockite syénitique porphyroïde	30	42	28
3168	Charnockite syénitique porphyroïde	35	46	19
3167	Charnockite granitique à cordiérite et sillimanite	19	67	14
3153	Charnockite granitique à cordiérite, sillimanite et grenat	44	40	16
3176	Gneiss à cordiérite et sillimanite	24	76	0

F.- FACIES DE METAMORPHISME.- Les paragenèses observées dans les formations cristallophylliennes du Massif des Marojejy à orthose - sillimanite - cordiérite - grenat, d'une part, et à wernérite - hornblende - diopside - sphène de l'autre, rapportent le faciès de métamorphisme de ces formations au faciès cordiérite - amphibolite de type Abukuma, subfaciès sillimanite - cordiérite - orthose (A.2.3.). Le report des paramètres ACF et A'FK d'une analyse de gneiss à cordiérite et sillimanite est conforme à ce faciès (cf. p.156, Pl.41).

Cependant, la présence de paragenèse à sillimanite et muscovite dans les quartzites et de biotite, hornblende et séricite (muscovite) dans les granites, rapporte le faciès de métamorphisme de ces dernières formations au subfaciès sillimanite - cordiérite - muscovite - almandin (A.2.2) du faciès cordiérite - amphibolite de type Abukuma.

Il y a donc lieu de penser que le faciès de métamorphisme régional dans les Marojejy serait intermédiaire entre le A.2.2 et A.2.3 du faciès cordiérite - amphibolite de type Abukuma.

En ce qui concerne les charnockites, la paragenèse à hypersthène - hornblende - diopside fait tout de suite penser au subfaciès hornblende-granulite du faciès granulite. Cependant, le fait que l'hypersthène est d'une manière générale ouralitisé, indique que ce minéral est instable et la paragenèse observée montre, dans ce cas, que le faciès des charnockites ne se rapporte exactement ni au faciès hornblende - granulite, ni au subfaciès sillimanite - cordiérite - orthose (A.2.3) du faciès cordiérite - amphibolite qui est le faciès de métamorphisme de la région ainsi que nous l'avons vu précédemment.

Nous avons reporté les données des analyses relatives aux charnockites de Marojejy sur un diagramme ACF (cf. p.156, Pl.41).

Les positions des projections de ces charnockites sur ce diagramme ACF, comparées au diagramme ACF de WINKLER (cf. p.158, Pl.43), montrent que ces projections (et en particulier celles des types gabbroïques 61 et 62) sont localisées dans la zone correspondant aux roches basaltiques et andésitiques. Cette constatation apporte un argument supplémentaire en faveur de l'origine des charnockites des Marojejy à partir d'intrusions gabbroïdiques noritiques qui sont placées en couches ou en sills interstratifiés dans une série d'origine sédimentaire.

Ces intrusions qui sont très chaudes auraient provoqué dans les gneiss à cordiérite et sillimanite et autres gneiss de la série métamorphique d'origine sédimentaire un métamorphisme de contact aboutissant à la formation de charnockite à cordiérite caractérisée par la paragenèse orthose, cordiérite, sillimanite, hypersthène, ± hornblende brune, biotite, ou à la formation de gneiss à orthose, biotite et hypersthène. Nous avons ici un type de phénomène de métamorphisme de contact qui se produit dans une zone profonde (zone du faciès amphibolite). De tels phénomènes sont très peu connus dans le monde. La paragenèse que nous avons observée dans les Marojejy correspond très bien au <u>subfaciès orthopyroxène - hornblende</u> du métamorphisme de très haute température à haute pression, défini par F.WINKLER (Genèse des roches métamorphiques, 1965).

Une question se pose cependant : Pourquoi les roches gabbroïdiques anhydres, métamorphisées dans le faciès amphibolite, n'avaient-elles pas donné comme dans les cas précédents (Soavinandriana-Betafo et Manakambahiny-Est) une paragenèse caractéristique du faciès hornblende-granulite ? Une remarque s'impose tout d'abord, c'est que dans les cas précédents, l'on a affaire à de grosses masses anhydres (massifs ayant une surface dépassant

60 km^2). Dans ce cas, la formation de la hornblende à partir des pyroxènes anhydres (opération nécessitant de l'eau) avait provoqué une baisse sensible de la vapeur d'eau, ce qui a permis l'apparition d'une paragenèse du faciès granulite et plus précisément du subfaciès hornblende-granulite. Dans le Massif des Marojejy, l'épaisseur des couches charnockitiques est de l'ordre du mètre et ne doit probablement pas dépasser dix mètres (cf. étude du gisement p.131). L'épaisseur de la série cristallophyllienne des Marojejy est de l'ordre de 2000 mètres du pied du massif au sommet. A première vue, l'on peut estimer le volume des charnockites comme étant le vingtième de tout l'ensemble. Dans ce cas, la baisse de la pression partielle d'eau provoquée par la formation d'amphibole à partir des pyroxènes ne doit probablement pas être importante pour que les conditions du faciès hornblende-granulite soient entièrement réalisées. Cependant, des conditions d'équilibre intermédiaires entre le faciès cordiérite-amphibolite (subfaciès A.2.3) et le faciès granulite (subfaciès hornblende-granulite) ont dû être réalisées puisque tous les pyroxènes n'ont pas été transformés en hornblende et que de l'hypersthène bien frais, non ouralitisé, se présente à côté de l'hypersthène ouralitisé(1) (cummingtonite ?).

Finalement, la paragenèse observée des charnockites du Massif des Marojejy à orthose-microcline, hypersthène, hypersthène ouralitisé, ± hornblende, biotite, rapporte le faciès de

---

(1) Au microscope on voit que les cristaux d'hypersthène caractérisés par une extinction droite et un pléochroïsme allant du rose au vert clair présentent une bordure constituée par un minéral fibreux au pléochroïsme allant du brun au jaune. Il s'agit vraisemblablement de cummingtonite.

CHARNOCKITES MASSIF DES MAROJEJY

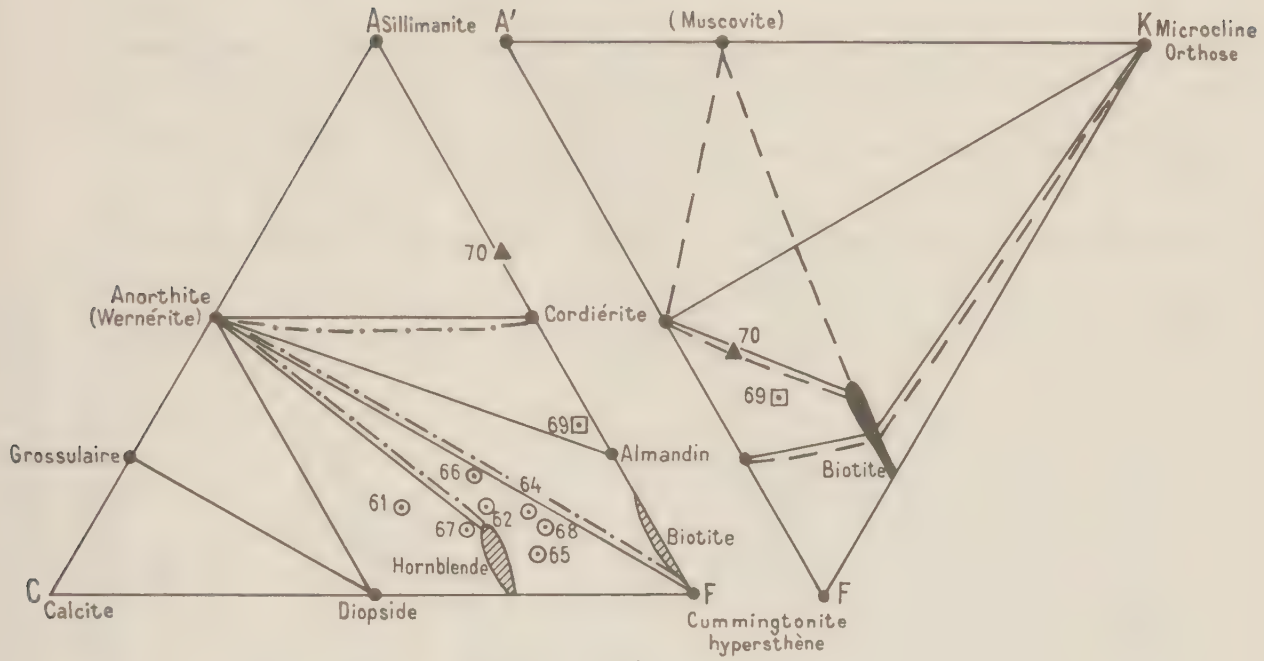


Diagramme ACF

Faciès cordiérite-amphibolite de type Abukuma modifié
Faciès intermédiaire entre subfaciès sillimanite-cordiérite-orthose (A.2.3) et subfaciès hornblende-granulite

⊙ : Charnockite

⊡ : Charnockite à cordiérite et sillimanite

▲ : Gneiss à cordiérite et sillimanite

—·—·— : Paragenèses observées dans les charnockites à cordiérite et sillimanite - Métamorphisme de contact profond (subfaciès orthopyroxène-hornblende de Winkler).

— — — : Paragenèses observées dans certaines formations (quartzite à muscovite et sillimanite, granite à biotite et hornblende)-Subfaciès sillimanite cordiérite-muscovite-almandin du faciès cordiérite-amphibolite de type Abukuma (A.2.2)

61, 62, ... etc correspondent aux numéros des analyses (cf. pl. 35)

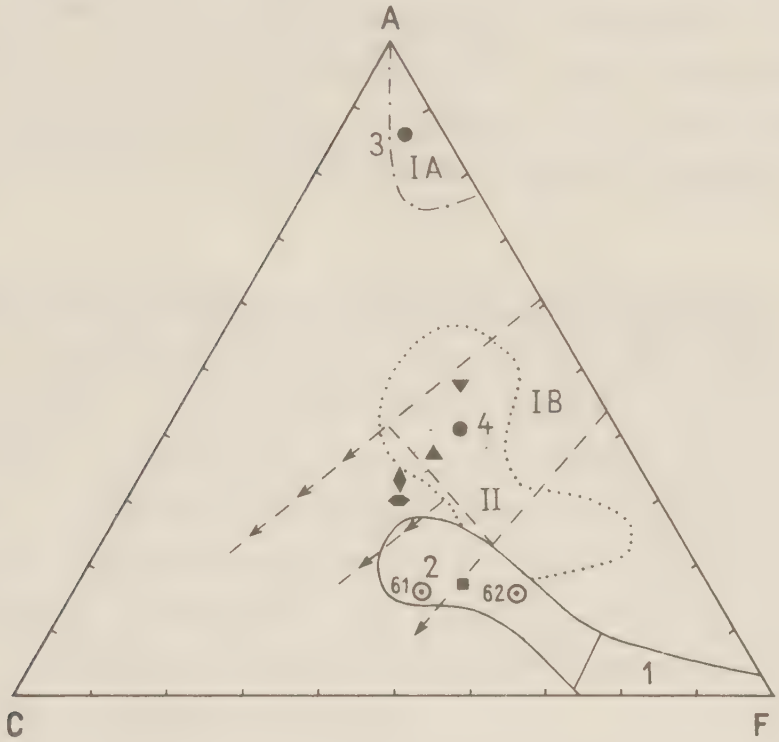
CHARNOCKITES MAROJEJY SAMBAVA

Valeurs des paramètres ACF et A'FK

Nº	Indi-catif	Nature de la roche	A	C	F	A'	F	K
61	G.3175	Charnockite gabbroïque	16	38	46			
62	G.3166	Charnockite gabbroïque (ou pyroxénite feldspathique à hypersthène)	16	25	59			
63	G.3174	Charnockite granodioritique	71	21	8	65	11	24
64	G.3172	Charnockite syénitique quartzifère	16	19	65			
65	G.3173	Charnockite syénitique porphyroïde quartzifère	8	21	71			
66	G.3150	Charnockite syénitique porphyroïde	22	24	54			
67	G.3168	Charnockite syénitique porphyroïde	13	30	57			
68	G.3167	Charnockite granitique à cordiérite et sillimanite	13	17	70			
69	G.3153	Charnockite à cordiérite, sillimanite et grenat	31	3	66	26	63	11
70	G.3176	Gneiss à grenat, cordiérite et sillimanite	39	0	61	36	56	8

COMPOSITION CHIMIQUE DE DIFFERENTES ROCHES MAGMATIQUES ET SEDIMENTAIRES PORTEE SUR UN DIAGRAMME ACF

(d'après WINKLER 1965)



(IA) Argiles et argiles schisteuses riches en Al

(IB) Argiles et argiles schisteuses soit sans carbonate soit contenant jusqu'à 35% de carbonate; entre les flèches : marnes à 35-65% de carbonate

(II) Grauwackes

(1) Roches ultrabasiques

(2) Roches basaltiques et andésitiques

■ Roches basaltiques

⬬ Tonalites

♦ Granodiorites

▲ Granites calco-alcalins

▼ Granites alcalins (d'après NOCKOLDS)

Domaine des grauwackes

● 3 Argiles continentales de la ceinture tropicale

● 4 Argiles marines

(3 et 4 d'après RONOV et KHLEBNIKOVA)

⊙ = Charnockite gabbroïque (Marojejy)

61 = Nº Analyse

métamorphisme de ces formations à un faciès intermédiaire entre le subfaciès A.2.3 du faciès cordiérite-amphibolite de type Abukuma et le subfaciès hornblende-granulite du faciès granulite. Sur le diagramme ACF (cf. p.156 , Pl.41) nous avons mis au pôle F cummingtonite et en dessous hypersthène, pour souligner justement ce faciès intermédiaire. Nous n'avons pas fait figurer l'anthophyllite qui, normalement, se place à ce pôle puisque ce minéral n'a pas été observé dans la région.

G.- CONCLUSION SUR LES CHARNOCKITES DE MAROJEJY.- L'étude précédente nous a montré que le Massif des Marojejy est constitué par une série cristallophyllienne formée par des gneiss et leptynites à biotite et grenat, des gneiss à cordiérite et sillimanite, cordiérite et grenat, des pyroxénites et gneiss à wernérite, diopside-hornblende et sphène et des quartzites à muscovite et sillimanite. Il s'agit donc d'une série sédimentaire, métamorphisée dans le faciès cordiérite-amphibolite (subfaciès A.2.3 de type Abukuma).

Dans cet ensemble se présentent en lames interstratifiées de faible puissance des charnockites de composition très variée, (gabbroïque, dioritique, granitique et syénitique) associées à des pyroxénites feldspathiques à hypersthène. La caractéristique essentielle de ces charnockites et pyroxénites est de montrer de l'hypersthène ouralitisé, et un feldspath potassique qui est de l'orthose ou du microcline.

L'étude pétrologique conduit à considérer ces charnockites comme résultant de la granitisation de roches gabbroïdiques noritiques intrusives et qui se sont mises en sills ou en couches interstratifiées au cours du métamorphisme au sein de la série d'origine sédimentaire.

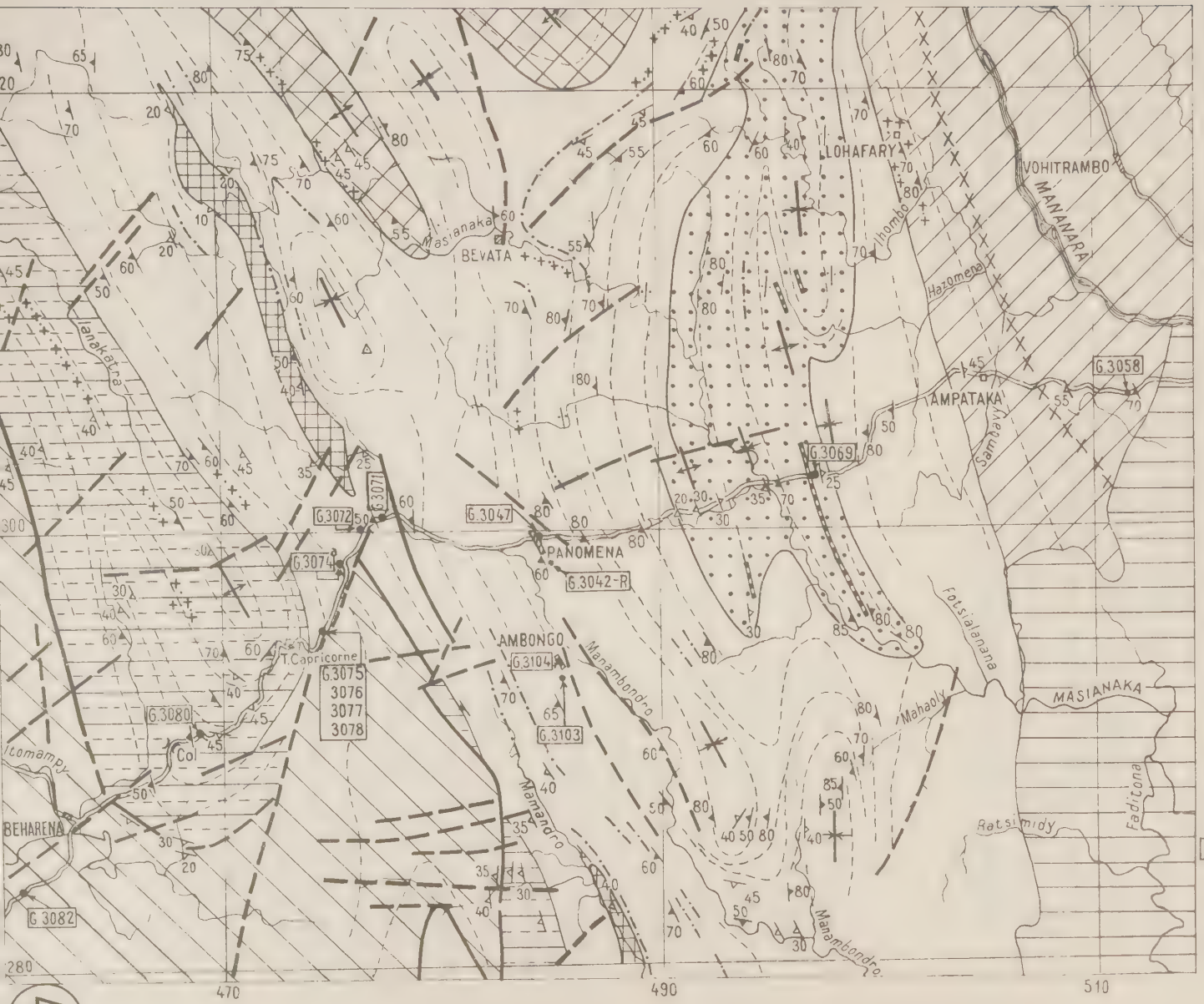
Ces intrusions sont de très haute température et ont provoqué la charnockitisation des gneiss au contact en donnant des charnockites à cordiérite et sillimanite, ainsi que des charnockites alumineuses qui ne sont que des gneiss à orthose et biotite à hypersthène.

Le faciès de métamorphisme régional est rapporté à celui du subfaciès A.2.3 du faciès cordiérite-amphibolite de type Abukuma. Les intrusions gabbroïdiques noritiques ont provoqué des modifications locales de ce faciès de base :

1º- Les charnockites dont la paragenèse à ± orthose-microcline, hypersthène, hypersthène ouralitisé, diopside-hédenbergite ± ouralitisé, ± hornblende, biotite, résulte d'une baisse peu importante de la pression partielle d'eau, présentent un faciès de métamorphisme intermédiaire entre celui du faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite, et celui du faciès cordiérite-amphibolite, subfaciès sillimanite-cordiérite-orthose-almandin (A.2.3).

2º- Les charnockites à cordiérite, sillimanite et biotite et les charnockites alumineuses, dont la paragenèse est à orthose, hypersthène, ± hornblende, ± grenat, biotite, présentent le faciès de métamorphisme de contact dans les zones profondes, subfaciès orthopyroxène-hornblende.

LES CHARNOCKITES DE LA REGION DE RANOMENA



LEGENDE

- Coulées basaltiques
- Migmatites avec bancs de charnockite
- Syénite à pyroxène
- Complexe de Ranomena { Charnockite-Pyroxénite, gneiss, quartzite
- Migmatites (Série de Tolongoina)
- Couches à graphite e charnockit
- Leptynite et gneiss à sillimanite et grenat. Gneiss à pyroxène et wernérite
- Charnock Pyroxénit Gneiss à roxène et sphène

FACIES PETROGRAPHIQUES SPECIAUX

+ Granite . X Charnockite

- Quartzite
- Banc de graphite
- Pendage >< 45°
- Verticalité
- Synclinal
- Anticlinal
- Faille
- G.3072 Echantillon prélevé pour analyse

0 5 10Km

A. RAZAFINIPARANY
1969

Chapitre V

LES CHARNOCKITES DE LA REGION DE RANOMENA

A.- LOCALISATION.- La zone concernée se situe dans la partie Sud-Est de l'île et s'inscrit en gros dans un rectangle délimité par les parallèles 280 et 320, d'une part, et les méridiens 460 et 510, de l'autre (coordonnées géographiques LABORDE). Cette région correspond à la feuille au 1/100.000 Ranomena (O.58) au centre, plus une partie orientale de la feuille Midongy du Sud (N.58) et une partie occidentale de la feuille Vangaindrano (P.58).

B.- HISTORIQUE.- En 1938, H.BESAIRIE commença ses études géologiques des régions de l'Extrême Sud et du Sud-Sud-Est de Madagascar. Ces études interrompues pendant la deuxième guerre mondiale, furent reprises en 1943 et achevées en 1945. De nombreux itinéraires furent effectués et 19 coupures de la carte géologique au 1/200.000 furent établies. Les résultats de ces travaux furent publiés dans un mémoire hors série intitulé "Recherches géologiques à Madagascar - Deuxième suite : L'extrême Sud et le Sud-Sud-Est". C'est lors de ces études que H.BESAIRIE a essayé de démêler pour la première fois dans le pays, les grandes lignes de la constitution du socle. Le travail de cet auteur a été conduit de façon à séparer les orthogneiss des paragneiss, à identifier les groupes à caractères pétrographiques homogènes, à classer de gros ensembles granitiques et à étudier leur répartition dans les différents groupes. C'est dans ce sens que fut dégagé le Système Androyen.

Dans le cadre de ce travail de défrichement, H.BESAIRIE procéda en 1945 au lever au 1/200.000 des feuilles Midongy du Sud, Vondrozo et Vangaindrano, au centre desquelles se situe la région de Ranomena qui est alors caractérisée comme étant constituée par un complexe à faciès malgachitique. Les 3 cartes géologiques correspondantes furent publiées en 2 couleurs en 1949 avec trois notices explicatives.

De ces études, H.BESAIRIE dégage le groupe de Vondrozo qu'il rattache au Système Androyen. Il place le complexe malgachitique de Ranomena dans ce groupe et le classe parmi les schistes cristallins bien qu'à cette époque, à la suite des travaux de HOLLAND aux Indes, la tendance générale soit d'attribuer aux charnockites une origine magmatique.

Mais, plus tard, lorsque le lever au 1/200.000 fut assez avancé, et qu'un essai de stratigraphie du socle fut établi, H.BESAIRIE rattacha le complexe de Ranomena au Système du Graphite, en raison de la présence du banc de graphite de Betsiramy qui connut dans le temps une certaine exploitation (carte au 1/1.000.000 Edition 1951 et carte au 1/500.000 Edition 1956).

- En 1956 et 1957, J.MARCHAL et H.de la ROCHE entreprirent une étude géologique des feuilles Midongy du Sud et Vangaindrano au 1/200.000 accompagnée de prospection générale. Les résultats de ces travaux furent publiés dans "Etude géologique des feuilles Midongy du Sud et Vangaindrano par J.MARCHAL" (TBG n°81, 1957, Service Géologique Tananarive) et dans "Etude géologique de l'extrême Sud-Est de Madagascar (zone d'intensité métamorphique élevée) par H.de la ROCHE" (Thèse Nancy 1958, in Annales géologiques de Madagascar Fascicule n°28, 1963).

Dans ces ouvrages, ces deux auteurs considèrent le complexe de Ranomena comme une vaste zone anticlinale qui s'ennoie

au Sud et à l'Ouest sous les formations silico-alumineuses du Groupe de Fort-Dauphin. S'appuyant sur ce caractère structural, ils placent le complexe de Ranomena sous le Groupe de Fort-Dauphin, donc à la base du Système Androyen.

H.de la ROCHE et J.MARCHAL considèrent dans ce complexe de Ranomena deux parties : une série charnockitique à la base et une "série intermédiaire" constituée par les gneiss à amphibole et pyroxène de la bordure occidentale du Complexe de Ranomena qui, selon ces auteurs, souligne le passage de la série charnockitique au Groupe de Fort-Dauphin et indique qu'il n'y a pas de coupure nette entre ces deux ensembles. - Signalons en passant que, dans le TBG nº81, page 7, J.MARCHAL mentionne la présence du sphène dans les gneiss à pyroxène et l'absence du faciès malgachitique dans ces roches.

- En 1958, J.MARCHAL procéda au lever géologique des feuilles au 1/100.000 Vondrozo-Iara (OP.57) qui sont juste au Nord des feuilles Ranomena-Vangaindrano. Les résultats furent publiés dans le TBG nº85 du Service Géologique. Une carte géologique en deux couleurs en fut tirée. Cet auteur y a distingué deux séries :

1º) A l'Ouest, la série de Tolongoina constituée de gneiss à biotite et grenat, à graphite, à sillimanite, cordiérite, et migmatites, avec de nombreux bancs de quartzites vitreux et des niveaux de charnockite. Des bancs de pyroxénites et pyroxéno-amphibolites y sont mentionnés. Il en est de même des gneiss à pyroxène qui ne présentent pas de faciès malgachitique. Les caractéristiques de cette série sont : les gneiss à graphite, les quartzites vitreux et les charnockites.

2º) A l'Est, apparaissant en anticlinorium, en concordance sous la série de Tolongoina, la série de Vondrozo essen-

tiellement granito-migmatitique avec intercalations de pyroxénites, de pyroxéno-amphibolites et de quartzites à magnétite. Les granites à orthite se présentant en bancs stratoïdes y sont très bien développés. Les caractéristiques de cette série sont les migmatites, les granites à orthite et l'absence du graphite.

- En 1964, j'ai étudié les charnockites de ce complexe, en particulier leurs relations avec les différents faciès pétrographiques et la structure du gisement.

- A partir de 1965, dans le cadre de son programme normal d'activité axé principalement sur la poursuite de l'établissement de la carte géologique au 1/100.000 accompagné de prospection générale, le Service Géologique entreprit un certain nombre de levers dans le Centre-Sud de Madagascar (régions d'Ihosy-Betroka-Ivohibe). C'est à cette occasion qu'en 1967, la feuille Soakibany (N.57) au Nord de Ranomena, et en 1968 les feuilles Amparihy-Est - Manambondro (OP.59) au Sud, furent levées par M.RANTOANINA. Il a été constaté que les principales formations rencontrées sur la feuille Ranomena apparaissent avec des développements différents dans ces zones. Les résultats de ces travaux sont très intéressants et permettent de mieux voir les relations du Complexe de Ranomena avec les séries géologiques avoisinantes.

C.- <u>GISEMENT</u>.- Les charnockites dans la région de Ranomena se présentent en gisement cristallophyllien constitué par un complexe para-ectinitique à structure fortement plissée qui, jusqu'ici, a été dénommé "Complexe de Ranomena". Le Complexe de Ranomena affleure dans la partie centrale de la zone étudiée. Il passe à l'Est à des formations fortement granitisées et migmatisées, et à l'Ouest à des formations gneissiques à pyroxène

et sphène, ces dernières apparaissant en position anticlinale sous le complexe de Ranomena. Tout à fait à l'Ouest de la région, nous avons les leptynites et gneiss à cordiérite, sillimanite et grenat, caractéristiques du Groupe de Fort-Dauphin, mis en contact anormal avec les formations gneissiques à pyroxène et le complexe de Ranomena par une grande cassure qui se prolonge loin vers le Nord constituant la faille de Ranotsara.

Vers la bordure Ouest du complexe, on peut relever la présence de bancs stratoïdes alignés de syénite orientés Nord-Ouest - Sud-Est.

Vers la bordure Nord de la feuille Ranomena, des formations migmatitiques de la Série de Tolongoina apparaissent en deux endroits, en anticlinal et en concordance au milieu de cet ensemble charnockitique.

1º- LES FORMATIONS GNEISSIQUES A PYROXENE.- Il s'agit là d'un ensemble constitué par des gneiss à pyroxène et sphène. Dans cette zone, les charnockites sont rares. Lorsqu'elles existent, elles sont associées à des pyroxénites. On note également dans cette zone la présence de pyroxénites à sphène mais sans wernérite. D'une manière générale, l'absence de la wernérite y est à remarquer. Une granitisation tardive ayant affecté les gneiss à pyroxène se manifeste par la présence de bancs de granite à biotite et de granite à pyroxène.

2º- LES FORMATIONS GNEISSIQUES ET LEPTYNITIQUES.- Elles se distinguent nettement des différentes formations décrites précédemment avec lesquelles elles sont mises anormalement en contact grâce à la faille de Ranotsara.

Cet ensemble comporte des leptynites et gneiss à sillimanite et grenat, avec des intercalations de gneiss à pyroxène et wernérite.

3º- LA ZONE GRANITIQUE ET MIGMATITIQUE.- Il s'agit là d'un ensemble qui se prolonge au Nord dans la région de Vondrozo et qui comprend des granites et migmatites à biotite et hornblende. On rencontre également en bancs résiduels les mêmes formations que dans le complexe de Ranomena (pyroxénite, amphibolo-pyroxénite, gneiss à pyroxène, quartzite). Les charnockites se présentent en bancs stratoïdes comme dans la région de Tananarive. Elles sont associées généralement à des pyroxénites.

4º- LE COMPLEXE DE RANOMENA.- Il est formé de bancs concordants de puissance variable, de gneiss, pyroxénites, pyroxéno-amphibolites, quartzites, constituant un ensemble caractéristique de la région. Dans ce complexe, les charnockites sont abondantes et sont associées étroitement aux pyroxénites.

On note aussi des bancs de granite témoignant d'un phénomène de granitisation tardive ayant affecté les charnockites.

Les gneiss sont généralement à biotite ou à biotite et grenat, parfois à pyroxène mais sans sphène et passant alors aux charnockites. Les gneiss à pyroxène et wernérite sont rares dans le complexe de Ranomena. Les gneiss à grenat et graphite semblent être localisés dans une bande de sept kilomètres de large entre le gisement de graphite de Betsiramy et le village de Ranomena et se prolongent vers le Nord dans la feuille de Vondrozo. Il nous semble que cette zone constitue un faciès différent du faciès ordinaire du complexe de Ranomena du fait de la présence du graphite, bien que les divers types pétrographi-

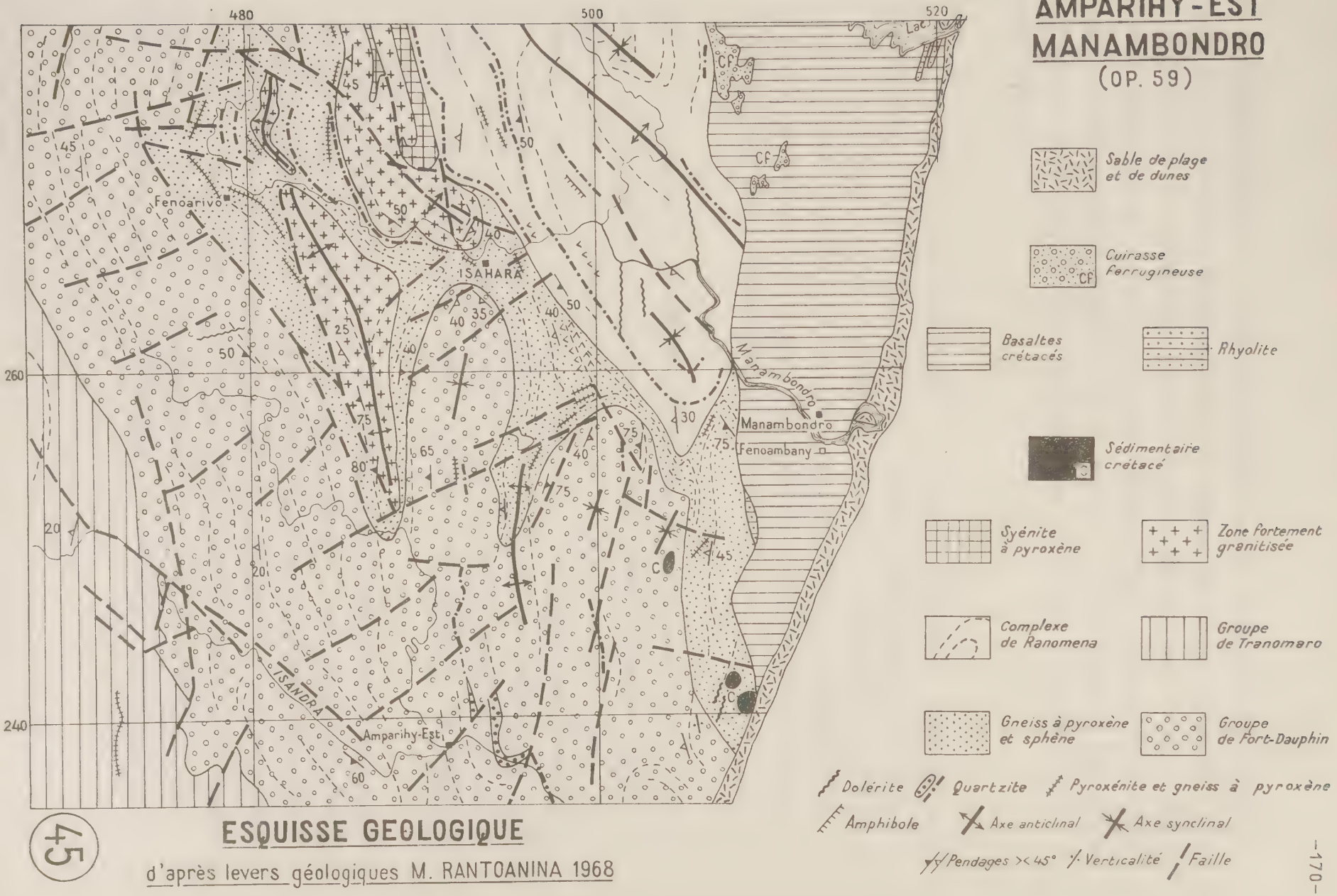
ques du complexe s'y retrouvent tous. D'autre part, ce faciès à graphite s'identifie dans la feuille de Vondrozo avec une zone à graphite et des bancs de charnockite longeant la bordure orientale de la Série de Tolongoina. Il nous a donc apparu normal d'individualiser cette zone particulière et de la séparer du complexe de Ranomena. Cette zone à graphite abondant et charnockite, vers le centre et le Nord de la feuille Vondrozo, passe latéralement au faciès migmatitique sans charnockite et pauvre ou sans graphite de la Série de Tolongoina. Elle semble donc constituer un faciès intermédiaire entre la série charnockitique de Ranomena et la série graphitique de Tolongoina qui s'étend très loin vers le Nord et dont deux digitations apparaissent dans la bordure Nord de la feuille Ranomena, en anticlinal sous le Complexe de Ranomena (cf. p.161, Pl.44).

5º- LES SYENITES STRATOÏDES.- Vers la bordure Ouest du Complexe de Ranomena, on peut remarquer la présence de bancs de syénites stratoïdes, allongés sur une même ligne dans la direction NW-SE. Ces syénites se sont mises en place tardivement. En effet, au contact, les charnockites ont été affectées par leur mise en place. On voit, en effet, des charnockites qui présentent de gros cristaux de feldspath rose se détachant nettement du fond charnockitique de coloration bleu-vert. Au microscope une telle charnockite feldspathisée montre une structure porphyroblastique constituée par des porphyroblastes de microcline et microcline perthitique et une mésostase à oligoclase, hornblende, biotite, hypersthène résiduel avec accessoirement apatite, magnétite et zircon. On constate ici que le feldspath potassique est un microcline alors que, dans le cas de la charnockite normale, on a affaire à de l'orthose. D'autre part, on peut voir que l'hypersthène s'est transformé en biotite.

Ces syénites stratoïdes sont comparables au type andringitréen que l'on rencontre dans la même direction, beaucoup plus loin dans le Nord, tant du point de vue faciès que gisement.

6º- RELATION ENTRE LE COMPLEXE DE RANOMENA ET LE GROUPE DE FORT-DAUPHIN.- Les travaux récents (A.RAZAFINIPARANY, Ranomena 1964, et M.RANTOANINA, Soakibany 1967, Amparihy-Est et Manambondro 1968) conduisent à considérer le complexe de Ranomena comme un vaste synclinorium reposant en concordance sur l'anticlinal des gneiss à pyroxène et sphène. Ce dernier, affleurant sur une bande d'environ 5 km de large dans la zone de Ranomena, s'allonge dans la direction Nord-Ouest - Sud-Est et se prolonge loin vers le Nord. Ces gneiss à pyroxène et sphène passeraient-ils au Nord latéralement aux formations dites d'"Ikalamavony" ? Ce passage n'est pas encore très bien défini. En effet, bien que les levers géologiques aient été effectués dans la zone de prolongement de ces formations (régions d'Ihosy-Ivohibe), un travail de corrélation s'avérait nécessaire pour dégager les différentes coupures. Ce travail est en train d'être réalisé cette année par J.CHANTRAINE.

Vers le Sud, sur la feuille Amparihy-Est, on voit, d'après les levers de M.RANTOANINA, que la faille de Ranotsara s'est arrêtée et que les gneiss à pyroxène et sphène passent latéralement aux formations leptynitiques à sillimanite et grenat du groupe de Fort-Dauphin. Ce passage latéral est très net. En effet, en suivant la ligne de schistosité, on passe du faciès gneiss à pyroxène et pyroxénites au faciès leptynites à grenat avec intercalations de gneiss à pyroxène et pyroxénites. Plus au Sud et à l'Ouest, on n'a plus que le faciès leptynites franches à cordiérite du groupe de Fort-Dauphin (cf. p.170, Pl.45).



45

ESQUISSE GEOLOGIQUE

d'après levers géologiques M. RANTOANINA 1968

D.- PETROGRAPHIE.- I - LES LEPTYNITES.- Ces formations s'étendent à l'Ouest du Complexe dans la région de Midongy du Sud. Ce sont des roches orientées, très leucocrates à grain moyen. Elles sont composées de quartz, orthose perthitique, oligoclase, grenat, accessoirement apatite et magnétite. La structure est généralement hétéroblastique. En certains endroits la cordiérite peut exister.

II - LES GNEISS A SILLIMANITE ET GRENAT.- Ils sont associés aux leptynites. Ce sont des roches à texture gneissique, parfois litées. Leur composition minéralogique est la suivante : quartz, orthose microperthitique, oligoclase, myrmékite, sillimanite, biotite, grenat, accessoirement apatite, magnétite et zircon. La structure est généralement hétéroblastique.

III - LES GNEISS A PYROXENE ET WERNERITE.- Ils sont associés aux gneiss et leptynites du groupe de Fort-Dauphin décrits précédemment. Minéralogiquement, ils sont constitués de quartz, bytownite, diopside, wernérite, sphène et accessoirement apatite. La structure est granoblastique. Ces roches présentent des grains plutôt fins, nettement orientés. Elles sont de coloration très foncée. Ces roches sont très rares dans le complexe de Ranomena.

IV - LES GNEISS A PYROXENE ET SPHENE.- Ce sont des roches verdâtres, à texture granitoïde et grain moyen. Leur composition minéralogique moyenne est la suivante : quartz, andésine-labrador (parfois bytownite), diopside, sphène, calcite et accessoirement apatite et magnétite. La structure est généralement granoblastique mais à tendance hétéroblastique, le quartz se présentant alors en phénoblastes. Le pyroxène est rarement ouralitisé.

Lorsqu'il l'est, on voit alors apparaître dans la roche, de la hornblende verte et le plagioclase est damouritisé. L'absence générale de wernérite est à remarquer.

Ces gneiss à pyroxène et sphène sont associés à des pyroxénites feldspathiques à sphène. Il s'agit là de roches vert foncé, à grain fin, compactes. Elles sont composées de labrador, diopside, calcite, sphène et accessoirement apatite et magnétite. La structure est granoblastique.

Nous avons vu précédemment que l'extension des gneiss à pyroxène est très localisée, uniquement le long de la bordure Ouest du Complexe de Ranomena. Ce dernier, d'ailleurs, n'en présente pas, alors que l'on peut trouver (rarement, il faut cependant le dire) des gneiss à pyroxène et wernérite. Il en est de même du Groupe de Fort-Dauphin. Inversement, dans la zone des gneiss à pyroxène et sphène, la wernérite n'a pas été rencontrée.

Il a été trouvé, à 2 kilomètres environ au NW de Bevaho sur la piste de Bevaho à Lavaraty, un type grisâtre à grain moyen orienté à structure porphyroblastique. Cette roche présente des porphyroblastes d'oligoclase et de quartz et une mésostase granoblastique constituée par de la bytownite, du diopside, du sphène, de la calcite, de l'olivine avec une auréole d'hypersthène au contact du plagioclase, et accessoirement magnétite, apatite, zircon.

V - LES GNEISS A PYROXENE ET AMPHIBOLE.- On les rencontre dans le Complexe de Ranomena. Il s'agit là de roches grises à grain moyen et orientées. Leur composition minéralogique est la suivante : quartz, oligoclase, hornblende, biotite, diopside et accessoirement magnétite, apatite, zircon. La structure est granoblastique. En d'autres endroits, on a : quartz, andésine, diop-

side, biotite très rare, magnétite, apatite. Parfois on voit apparaître l'hypersthène.

VI - LES GNEISS A GRENAT.- Roches litées à grain moyen, les gneiss à grenat se rencontrent souvent dans le complexe de Ranomena. Leur composition moyenne est : quartz, oligoclase-andésine, orthose généralement microperthitique, biotite, grenat, accessoirement apatite et magnétite. La structure est granoblastique. Le graphite est parfois présent et peut même en certains endroits se présenter en quantité susceptible de donner une exploitation (Betsiramy). Cependant, l'aire d'extension du graphite est assez restreinte. Ce minéral semble être localisé dans une zone bien définie et nous avons vu précédemment qu'il a permis de définir un faciès spécial qui peut être distingué du complexe de Ranomena. Vers la bordure Ouest du complexe, près de la limite des formations gneissiques à pyroxène, on a pu remarquer la présence d'un banc de gneiss à sillimanite et cordiérite. Cette roche est différente des gneiss à sillimanite et grenat du groupe de Fort-Dauphin. Elle a une coloration brun foncé et présente des grains de quartz en lentilles allongées et aplaties dans le sens de la schistosité. La roche est litée, voire même feuilletée. Minéralogiquement, elle est constituée de quartz, microcline, andésine, sillimanite, cordiérite, biotite, et accessoirement apatite, magnétite, zircon. La structure est hétéroblastique.

VII - LES QUARTZITES.- On les rencontre fréquemment dans le complexe de Ranomena. Ce sont des roches massives, essentiellement composées de quartz en gros grain et se présentant en bancs de puissance variable allant de quelques centimètres à quelques centaines de mètres.

VIII - LES PYROXENITES FELDSPATHIQUES.- Ce sont des roches orientées massives, très fréquentes dans le complexe de Ranomena. Leur composition minéralogique de base comprend : andésine-labrador, diopside-hédenbergite, accessoirement apatite et magnétite. Le quartz est très rare. La structure est granoblastique. Le grenat est parfois présent. Il peut même être abondant et l'on a alors affaire à de véritables grenatites.

Outre ce type à diopside seul, on peut rencontrer fréquemment un type à diopside et hornblende. Ces deux types sont d'ailleurs étroitement associés sur le terrain et, généralement, rien ne permet de les différencier macroscopiquement.

D'un autre côté, ces pyroxénites feldspathiques sont généralement associées à des charnockites. Au contact des charnockites, on note dans les pyroxénites la présence de l'hypersthène et de la hornblende, parfois de la biotite. Le passage des pyroxénites aux charnockites se fait par une zone intermédiaire à structure hétéroblastique. Ce faciès intermédiaire est constitué par une roche hétérogène constituée par une pyroxénite à grain moyen ou fin dans laquelle on peut remarquer des cristaux plus développés de quartz bleuté et de feldspath verdâtre.

Au microscope, on peut noter la composition minéralogique suivante : quartz, oligoclase-andésine, orthose perthitique, hypersthène, diopside-hédenbergite, hornblende, biotite, accessoirement apatite et magnétite.

IX - LES CHARNOCKITES.- Les charnockites de Ranomena, comme toutes les autres charnockites, sont difficiles à examiner sur le terrain. En effet, la coloration vert plus ou moins foncé ne facilite pas l'examen, en particulier elle ne permet pas à pre-

mière vue d'apprécier la texture et les relations des différents faciès en présence (enclaves ou lits de différentes compositions). Cette difficulté est aggravée encore un peu plus par la coloration malgachitique. Il faut donc une surface fraîche pour pouvoir faire un bon examen. De telles surfaces étaient rares à l'époque où nous étions dans la région. Cependant, une petite carrière encore assez récente près du village de Ranomena nous a montré comment se présentent ces charnockites à l'affleurement.

Nous avons pu constater qu'à l'échelle de l'affleurement, les charnockites de Ranomena ont une texture migmatitique.

Dans le cas de la petite carrière mentionnée ci-dessus, on peut distinguer un leucosome syénitique constitué par de gros cristaux de feldspath verdâtre avec très peu de ferromagnésiens et des mélanosomes très riches en ferromagnésiens à grain plus fin, noir, en lits soulignant l'ensemble ou en enclaves à bords anguleux.

L'orientation n'est pas simple. Elle est linéaire en certains endroits, donnant alors à la roche un aspect rubané, ou plissée en d'autres, ou tourbillonnaire passant rapidement au faciès anatexique à orientation floue, voire même au faciès granitoïde homogène. On observe aussi la présence de lits minces de biotite qui soulignent l'orientation de l'ensemble.

Une lame mince a été taillée dans le leucosome syénitique, une autre dans une enclave grenue basique à bord franc et une dernière sur le contact des deux.

1º) <u>Le leucosome</u> comprend : quartz rare, orthose microperthitique et oligoclase en gros cristaux, hypersthène et bio-

tite en petits cristaux entre les feldspaths, apatite, magnétite, ilménite. Il s'agit d'une charnockite syénitique.

2º) Le mélanosome est constitué par : labrador (rare), diopside-hédenbergite, hypersthène - biotite - apatite - magnétite - zircon. Structure granoblastique. Il s'agit d'une pyroxénite feldspathique à biotite.

3º) Le contact montre : a) d'un côté, le mélanosome grenu à labrador rare, diopside-hédenbergite et hypersthène ;

b) de l'autre, le leucosome à gros cristaux d'orthose microperthitique, oligoclase et petits cristaux d'hypersthène et biotite ;

c) entre les deux : une zone à plagioclase basique (andésine) et gros cristaux de biotite et un peu d'hypersthène.

A l'entrée du village de Ranomena, charnockite et pyroxénite en contact, prélevées dans le talus de la route Ranomena-Vangaindrano, présentent les compositions suivantes :

a) pyroxénite : andésine, diopside-hédenbergite, magnétite, apatite. Structure granoblastique.

b) charnockite : quartz, andésine, orthose microperthitique, hypersthène, diopside-hédenbergite, biotite, apatite, magnétite. Structure granolépidoblastique.

D'une façon générale, à l'échelle de l'affleurement, les charnockites de Ranomena sont migmatitiques. On distingue fréquemment deux parties en présence, différenciées par leur coloration, une partie leucocrate (leucosome) et une partie foncée (mélanosome), ou alors seulement l'une des deux, les affleurements étant généralement trop restreints (de l'ordre du mètre carré) pour que l'on puisse observer d'autres faciès pétrographiques. Il est donc difficile dans ce cas de préciser

quelle serait la roche-hôte ou paléosome. Dès lors, l'on peut dire que ce que l'on observe est le néosome qui comporte le "mobilisat charnockitique" (leucosome), d'une part, et la "restite pyroxénitique" (mélanosome) de l'autre. A part les quelques lits minces surmicacés, ce sont les deux principaux constituants de ces migmatites un peu particulières.

A l'échelle de l'échantillon, ce que nous appelons "charnockites" correspondrait au "mobilisat charnockitique" tandis que le terme de "restite pyroxénitique" serait donc attribué à la pyroxénite associée(1).

Ainsi définies, les charnockites de la région de Ranomena sont caractérisées par une texture orientée, parfois litée, à grain généralement moyen. Elles présentent la coloration caractéristique vert sombre des charnockites. Leur composition varie de celle d'un gabbro-diorite à celle d'une syénite en passant par celle d'un granodiorite-granite.

D'une manière générale, on rencontre dans chaque groupe charnockitique (gabbroïque ou dioritique ou granodioritique ou granitique ou syénitique) soit des types à diopside-hédenbergite et hypersthène avec ou sans hornblende, soit des types à hypersthène seul mais très rarement. La biotite brune peut être présente mais généralement en petite quantité. Le grenat est assez rare dans les charnockites de Ranomena ; nous n'en avons constaté la présence que dans un type dioritique.

Dans tous les cas, le type à diopside-hedenbergite et hypersthène et le type à hypersthène seul sont étroitement as-

---

(1) Nous préférons utiliser ici le terme de "mobilisat" au lieu de "leucosome", puisque les charnockites rencontrées peuvent être basiques et très foncées.

sociés sur le terrain, si bien que leur séparation est impossible à l'échelle de la cartographie même très fine.

1º- Les charnockites gabbroïques.- Ce sont des roches généralement noires dont le feldspath est verdâtre, et très riches en minéraux ferromagnésiens. Le type à diopside-hédenbergite et hypersthène comporte : andésine-labrador, hypersthène, diopside-hédenbergite, biotite brune et accessoirement apatite, magnétite, avec ou sans zircon. La biotite n'est pas présente partout. Parfois, on a de la hornblende brune. La structure est granoblastique.

Dans certains cas, la roche montre des grains hétérogènes. Elle est constituée alors par une mésostase à grain fin riche en ferromagnésiens, dans laquelle se développent des phénoblastes quartzo-feldspathiques de coloration malgachitique. Au microscope on voit : du quartz, de l'andésine, du diopside-hédenbergite, de l'hypersthène et accessoirement de l'apatite, de la magnétite. Structure hétéroblastique.

2º- Les charnockites dioritiques.- Il s'agit là de roches foncées presque noires, orientées, à grain moyen ou fin. Les cristaux feldspathiques ont généralement une coloration jaune-verdâtre malgachitique. Les ferromagnésiens sont abondants. L'étude microscopique montre : oligoclase-andésine, hypersthène, diopside-hédenbergite, hornblende brun-vert, biotite brune et accessoirement apatite, magnétite. La structure est granoblastique.

Le type à hypersthène seul comporte du quartz, de l'oligoclase-andésine, de l'hypersthène, (magnétite et zircon).

C'est dans les charnockites dioritiques que nous avons rencontré du grenat. Ce type est à grain fin orienté et assez

pauvre en ferromagnésiens. Minéralogiquement, il est constitué de quartz, oligoclase, hypersthène, biotite, grenat et accessoirement apatite, magnétite et zircon. La structure est granoblastique.

On peut remarquer de l'étude de ces variétés pétrographiques que les types à hypersthène seul présentent toujours du quartz.

3º- Les charnockites granodioritiques et granitiques.- Minéralogiquement ces deux types ont la même composition ; ce sont seulement les proportions des éléments constituants qui changent, les types granodioritiques étant plus riches en pyroxène et amphibole que les types granitiques.

Ces roches présentent généralement une légère orientation et la coloration bleu-vert ou vert-jaunâtre caractéristique. Le grain est moyen. L'étude microscopique donne la composition suivante : quartz, orthose microperthitique, oligoclase, myrmékite, hypersthène, diopside-hédenbergite, hornblende, biotite, et accessoirement apatite et magnétite. La structure est granoblastique à hétéroblastique. La hornblende est souvent absente, la biotite brune plus fréquente mais non abondante.

Le type à hypersthène seul comporte du quartz, de l'oligoclase, de l'hypersthène et accessoirement apatite, magnétite et zircon. Structure hétéroblastique.

4º- Les charnockites syénitiques.- Ici, les grains sont hétérogènes, de par la présence de gros porphyroblastes de feldspath. De ce fait, l'orientation que l'on observait généralement jusqu'ici, s'estompe et devient floue. Minéralogiquement, la roche est composée de : quartz rare ou absent, orthose perthitique,

myrmékite, oligoclase, hypersthène, hornblende, accessoirement apatite et magnétite. La différence d'avec le type granitique est donc la diminution ou la disparition du quartz et le grand développement de l'orthose.

X - LES GRANITES.- Il s'agit là de granites orientés, à grain moyen parfois grossier. Leur composition moyenne est : quartz, oligoclase, microcline perthitique, biotite, accessoirement magnétite. La structure est hétéroblastique.

Ces granites se rapportent à une granitisation tardive qui a affecté les charnockites. On observe en effet des passages de charnockites montrant des cristaux de feldspath rose. Ces charnockites granitisées sont généralement composées de quartz, oligoclase, orthose perthitique, myrmékite, hornblende verte, biotite. La structure est hétéroblastique, montrant des phénoblastes d'orthose.

XI - LES GRANITES A PYROXENE ET ORTHITE.- On les rencontre dans la zone des gneiss à pyroxène. Ce sont des roches parfois orientées, parfois granitoïdes, à grain moyen montrant des feldspaths clairs. Leur composition minéralogique comprend : quartz, oligoclase, orthose perthitique, myrmékite, pyroxène monoclinique vert (hédenbergite), hornblende, accessoirement magnétite et apatite. La structure est hétéroblastique. Ces granites montrent en certains endroits de l'orthite. On peut les rattacher à une phase de granitisation tardive qui a affecté dans ce cas les gneiss à pyroxène.

XII - LES SYENITES STRATOÏDES.- Ce sont des roches roses généralement orientées de faciès très diversifiés. On a, soit des

types porphyroïdes à gros grain de feldspath rose, soit des types grenus à grain moyen ou bien des types également à grain moyen ou grossier, mais très leucocrates, presque dépourvus de ferromagnésiens. La composition minéralogique est la suivante : microcline perthitique, oligoclase et oligoclase antiperthitique, myrmékite, hornblende verte, biotite et accessoirement magnétite et zircon. La structure est porphyroblastique.

XIII - CONCLUSION.- L'étude de la région de Ranomena (gisement et pétrographie) a montré que les charnockites sont ici en gisement cristallophyllien. Le fait que ces roches se présentent en bancs interstratifiés au sein de formations indubitablement d'origine sédimentaire (quartzites, gneiss à grenat, à graphite, à pyroxène et wernérite) incite naturellement à leur attribuer une origine para.

Les charnockites, ici comme dans les cas précédents (Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est et Tananarive), sont intimement associées sur le terrain à des roches de composition gabbroïque (pyroxénite feldspathique ou amphibolo-pyroxénite feldspathique) et, entre ces deux types de roche, il y a variation graduelle de la composition minéralogique. Le tableau comparatif ci-dessous illustre nettement cette liaison.

	Pyroxénites ± feldspathiques	Charnockites gabbroïques	Charnockites dioritiques	Charnockites granitiques	Charnockites syénitiques
quartz	-	±	±	+	-
plagioclase	Labrador rare	Labrador-andésine	Andésine-oligoclase	Oligoclase	Oligoclase
pyroxène	diopside-hédenbergite ± hypersthène	diopside-hédenbergite + hypersthène	± diopside-hédenbergite + hypersthène	± diopside-hédenbergite peu abondant + hypersthène	± diopside-hédenbergite peu abondant + hypersthène
amphibole	± hornblende	± hornblende	± hornblende	± hornblende peu abondante	± hornblende peu abondante
autres minéraux	± biotite	± biotite	± grenat ± biotite	+ orthose ± biotite	+ orthose abondant ± biotite

On peut interpréter ce résultat de 2 manières :

1º) Les charnockites dérivent, comme dans les différents massifs précédents, de la granitisation de roche pyroxénique à composition gabbroïque, les différentes étapes de cette granitisation (dont le dernier terme est une métasomatose alcaline ou une simple feldspathisation) correspondant aux différents faciès observés (gabbro, diorite, granodiorite, granite et syénite).

2º) Les charnockites dérivent d'une roche à hypersthène de composition dioritique qui, par anatexie, se serait différenciée en éléments de plus en plus leucocrates et, d'autre part, de plus en plus basiques, dont le produit ultime restant (restite) serait constitué par les pyroxénites.

La première hypothèse paraît simple, mais elle implique l'intervention d'un apport venant de l'extérieur.

La deuxième hypothèse paraît compliquée. Mais elle a l'avantage de ne faire intervenir aucun apport venant de l'extérieur, mais un simple arrangement interne des éléments à la suite de l'anatexie (fusion) de la formation initiale.

Les caractères pétrographiques étudiés précédemment ne nous permettent pas d'opter pour l'une ou l'autre de l'hypothèse. Nous essaierons donc de voir si les caractères chimiques ne nous donneraient pas des indications plus intéressantes.

Cependant, d'ores et déjà, il y a lieu de signaler que la deuxième hypothèse n'est possible que dans le faciès granulite, la roche initiale impliquant la présence de l'hypersthène, alors que dans le premier cas une granitisation de norite dans le faciès amphibolite suffit. Les données du faciès de métamorphisme auront donc une importance essentielle dans cette étude.

E.- CARACTERES CHIMIQUES.- 15 analyses[1] ont été effectuées par le Laboratoire d'Analyses Minérales et d'Essais Industriels de la Direction des Mines et de l'Energie de Tananarive.

Nous donnons à la suite :

1º) Un tableau groupant les résultats des analyses pondérales avec les valeurs des paramètres de LACROIX ainsi que des paramètres de NIGGLI.

2º) Un tableau montrant les pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA.

3º) Un diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs décroissantes de Ca.

I - REMARQUES GENERALES.- 1º) Comparés aux résultats des analyses des charnockites de Soavinandriana-Betafo qui sont en principe d'origine ortho, ceux des charnockites de Ranomena, d'origine mal définie, semblent présenter des teneurs en MgO

---

(1) Les analyses 51, 57 et 60 nous paraissent anormales quant aux valeurs données des pourcentages pondéraux de Fe_2O_3 qui sont extrêmement faibles (à l'état de traces), d'une part, et de Al_2O_3 très élevés (dépassant 20 %), de l'autre. Cependant, les valeurs des autres éléments paraissent comparables à celles des autres analyses.

Nous avons néanmoins conservé les trois analyses indiquées ci-dessus. En effet, le but que nous poursuivons est de voir comment évoluent les différents éléments au cours de la charnockitisation. Il s'agit donc là d'une étude semi-quantitative et des ordres de grandeurs des données analytiques peuvent convenir.

légèrement plus faibles. Les autres éléments sont approximativement semblables.

2º) N'ayant pu disposer que d'une seule analyse de pyroxénite feldspathique associée aux charnockites et de deux seulement sur les gneiss à pyroxène et wernérite, la comparaison entre les analyses de ces deux types de roches ne peut être considérée qu'à titre indicatif. Il apparaît, d'après ces résultats, que les pyroxénites feldspathiques sont plus riches en FeO, mais par contre plus pauvres en CaO que les gneiss à pyroxène et wernérite.

3º) Par rapport aux granites, aux gneiss à orthose et aux leptynites, les charnockites granitiques semblent plus riches en FeO, mais plus pauvres en Al_2O_3.

II - INTERPRETATION.- 1º) Lorsque l'on prend les valeurs décroissantes de Ca, les différentes formations se classent de la façon suivante : gneiss à pyroxène et wernérite, pyroxénites, charnockites gabbroïques, charnockites granitiques, charnockites syénitiques, leptynites et gneiss à grenat.

2º) Le diagramme des variations des pourcentages en cations suivant les valeurs décroissantes de Ca montre trois zones : - dans la zone riche en Ca, nous avons les gneiss à pyroxène et wernérite ; à l'autre bout, dans la zone pauvre en Ca, les roches leptynitiques du groupe de Fort-Dauphin ; entre les deux, nous avons la zone des pyroxénites et charnockites.

D'ores et déjà nous pouvons voir sur ce diagramme que les charnockites semblent être caractérisées par un intervalle défini de valeurs de Ca.

ANALYSES CHIMIQUES

N°	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
INDICATIF	G.3104(1)	G.3074a	G.3047	G.3071	G.3078	T.3076	G.3075	G.3077	G.3069	G.3080	G.3042-R	G.3103	G.3082	G.3058	G.3072
SiO_2	43,20	54,90	43,50	48,80	48,40	52,10	66,70	66,50	65,50	61,30	57,10	59,10	63,10	68,80	59,60
Al_2O_3	18,80	18,10	11,00	15,50	17,70	27,10	17,50	15,50	14,10	19,10	16,30	22,00	20,70	15,10	21,50
Fe_2O_3	0,60	Traces	7,30	6,10	5,60	Traces	1,90	0,80	0,20	1,80	4,10	Traces	0,40	0,30	Traces
FeO	3,30	4,40	12,30	8,00	10,80	3,40	1,10	4,00	5,40	1,50	4,00	2,60	2,90	2,00	4,70
MgO	2,20	6,90	6,30	3,60	1,40	3,10	1,10	2,00	1,00	0,70	2,80	1,30	0,90	0,90	3,10
CaO	28,00	16,20	9,60	9,20	7,00	6,60	5,00	4,80	3,70	3,80	3,10	3,10	2,20	2,10	1,80
Na_2O	0,50	1,90	3,70	2,70	1,80	3,80	4,00	3,50	3,40	4,90	4,70	3,50	2,40	4,70	4,70
K_2O	0,40	1,50	1,10	2,40	1,20	0,80	0,50	1,00	4,30	5,00	5,00	5,30	4,80	4,30	2,50
TiO_2	0,80	0,70	3,40	1,70	4,10	0,70	0,50	0,80	0,80	0,70	1,00	0,90	0,70	0,50	1,10
P_2O_5	0,20	0,20	0,40	0,20	0,30	0,20		0,20	0,40	0,60	0,50	0,40	0,30	0,30	0,20
H_2O^+	0,90	2,00	0,70	0,70	0,60	0,90	0,70	0,50	0,80	0,20	0,70	0,50	0,50	0,40	0,25
H_2O^-	0,30	0,30	0,10	0,20	0,10	0,30	0,30	0,10	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30	0,25
Total	100,20	99,10	99,30	99,10	99,00	99,00	99,30	99,70	99,80	99,70	99,50	99,10	99,10	99,70	99,70
Analyste(2)	Ro	Rs	Ro	Rs	Rs	Rs	Ro	Rs	Rs	Ro	Rs	Rs	Rs	Rs	Rs
Date	28-8-67	4-10-65	12-9-67	4-10-65	4-10-65	4-10-65	28-8-67	4-10-65	29-9-65	28-8-67	29-9-65	4-10-65	4-10-65	29-9-65	4-10-65
C.I.P.W.	III,5°, °5(5)4	III,(4)5, 5,'4	III°,(5) 6,2°,4°	(II)III,5, 3,(3)4	II,4,4,4	(I)II,°5, 3(4),(4)5	I','4,3,°5	(I)II,'4, 3,4'	°II,4,2,3	I',°5,2, 3(4)	II,3,2,3°	I',(4)3, 2,3	I',4,2,'3	I',4,'2, 3(4)	'II,4',2,4
h	1	1	2	2'	3'	1(2)	3	2	1(2)	'4	'3	2	2	2	(1)2
k	(1)2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
l	3	3	2	2	1	1	1	1	'2	1	1(2)	1	1	1'	1
m	3	2	3	3	4	(2)3	2(3)	3	4	3	3	3	(3)4	3	3
Niggli															
si	89,44	136,86	94,12	122,73	135,49	150,21	279,86	263,68	267,96	227,96	182,67	217,68	263,06	317,53	203,50
al	22,89	14,81	14,00	22,93	29,14	45,96	43,19	36,15	33,93	41,78	30,67	47,66	50,76	40,99	43,18
fm	13,45	34,94	54,47	41,85	42,83	21,57	16,74	27,49	25,16	13,57	33,93	15,16	16,97	14,96	29,25
alk	1,53	6,97	9,26	10,42	7,02	12,07	17,58	15,96	24,68	29,50	24,76	24,93	22,45	33,65	20,97
c	62,11	43,27	22,25	24,79	20,99	20,38	22,47	20,39	16,21	15,14	10,62	12,23	9,82	10,38	6,58
ti	1,242	1,308	5,517	3,206	8,608	1,513	1,573	2,379	2,454	1,952	2,399	2,486	2,188	1,730	2,817
K	0,345	0,342	0,163	0,369	0,305	0,121	0,076	0,158	0,454	0,402	0,412	0,499	0,568	0,376	0,259
mg	0,507	0,738	0,375	0,324	0,137	0,621	0,413	0,432	0,243	0,287	0,395	0,473	0,231	0,416	0,542
p	0,174	0,210	0,365	0,212	0,354	0,243		0,335	0,991	0,942	0,675	0,622	0,528	0,585	0,288

(1) Indicatif G = Echantillon A.RAZAFINIPARANY

(2) Analystes : Ro = B.ROUSSEL Rs = R.RAZAFINDRATANDRA

46

COMPLEXE CHARNOCKITIQUE DE RANOMENA

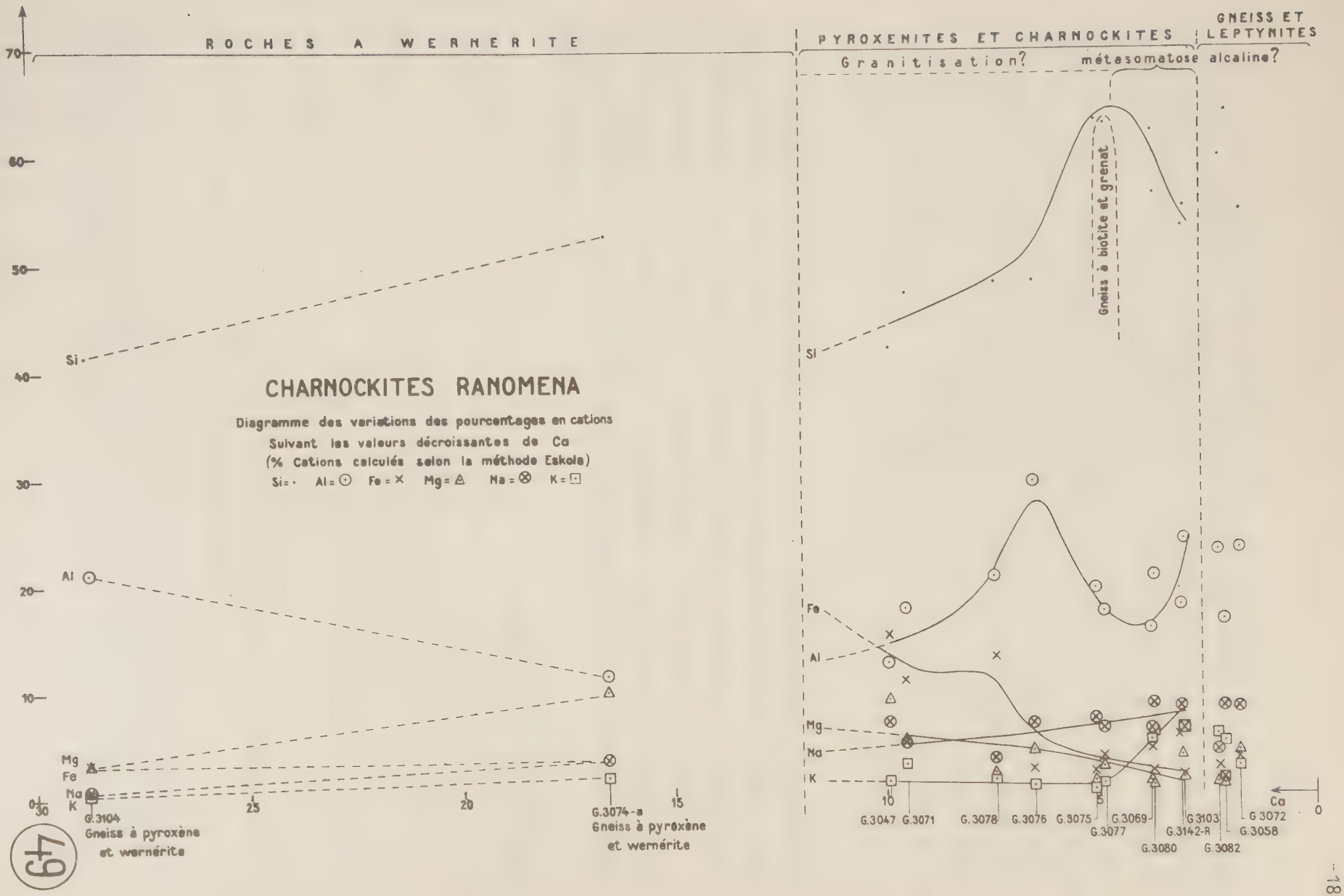
Provenance des échantillons analysés

Nº	Indicatif	Détermination pétrographique	Provenance	Coordonnées géographiques LABORDE	
				Y	X
46	G.3104	Gneiss à pyroxène, wernérite et grenat	Piste Ranomena-Ambongo	485,500	293,400
47	G.3074-a	Gneiss à pyroxène et wernérite	Route Ranomena-Midongy	475,500	298,300
48	G.3047	Pyroxénite feldspathique	Route Ranomena-Vangaindrano	484,500	299,650
49	G.3071	Charnockite gabbroïque	Route Ranomena-Midongy	477,200	300,600
50	G.3078	Charnockite gabbroïque	-id-	474,600	295,300
51	G.3076	Pyroxénite charnockitisée			
52	G.3075	Charnockite dioritique quartzifère			
53	G.3077	Gneiss à biotite et grenat			
54	G.3069	Charnockite granitique	Route Ranomena-Vangaindrano	497,300	302,400
55	G.3080	Granite à pyroxène et hornblende	Route Ranomena-Midongy	468,800	290,900
56	G.3042-R	Charnockite syénitique	Route Ranomena-Vangaindrano	484,900	298,600
57	G.3103	Charnockite syénitique	Piste Ranomena-Ambongo	485,400	293,100
58	G.3082	Leptynite à grenat	Route Ranomena-Midongy	460,700	283,700
59	G.3058	Granite à hornblende et biotite	Route Ranomena-Vangaindrano	511,900	306,000
60	G.3072	Gneiss à orthose, biotite et grenat	Route Ranomena-Midongy	476,400	300,000

COMPLEXE CHARNOCKITIQUE DE RANOMENA

Tableau des pourcentages en cations calculés selon la méthode ESKOLA

Nº	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Indi-catif	3104	3074-a	3047	3071	3078	3076	3075	3077	3069	3080	3042-R	3103	3082	3058	3072
Si	41,512	52,564	42,087	47,255	48,222	48,416	63,287	62,954	62,256	58,554	53,435	55,247	59,851	64,136	54,844
Al	21,253	11,376	15,521	17,658	20,747	29,628	19,534	17,263	15,766	20,731	17,945	24,195	23,099	16,560	23,275
Fe^{+++}	0,432	0,000	5,297	4,430	4,184	-	1,352	0,568	0,142	1,245	2,877	-	0,284	0,209	0,000
Fe^{++}	2,642	3,510	9,917	6,455	8,967	2,633	0,869	3,155	4,277	1,153	3,119	2,025	2,292	1,553	3,604
Mg	3,171	9,909	9,143	5,229	2,092	4,321	1,565	2,840	1,425	0,968	3,930	1,822	1,280	1,258	4,278
Ca	28,828	16,618	9,951	9,545	7,472	6,571	5,083	4,868	3,767	3,756	3,108	3,104	2,235	2,097	1,774
Na	0,929	3,520	6,928	5,080	3,471	6,834	7,345	6,413	6,254	8,749	8,512	6,332	4,405	8,480	8,370
K	0,490	1,833	1,358	2,966	1,526	0,949	0,605	1,208	5,217	5,888	5,973	6,324	5,812	5,117	2,936
Ti	0,576	0,502	2,467	1,234	3,063	0,487	0,355	0,568	0,570	0,484	0,701	0,630	0,497	0,349	0,759
P	0,162	0,161	0,327	0,163	0,252	0,157	-	0,160	0,321	0,467	0,395	0,315	0,240	0,238	0,155
Total	100,000	100,000	100,000	100,000	99,999	100,000	100,000	100,000	100,000	99,999	100,000	100,000	99,999	100,000	100,000
O	149,582	149,938	147,553	153,507	159,639	157,274	167,896	167,289	162,992	160,794	155,715	160,563	165,711	165,184	161,053
OH	5,765	12,766	4,515	4,518	3,985	5,575	4,427	3,155	5,069	1,230	4,367	3,116	3,161	4,485	1,533
O + OH	155,348	162,704	151,068	158,028	163,825	162,850	172,324	170,455	168,061	162,024	160,082	163,679	168,873	167,670	162,587


ROCHES A WERNERITE
PYROXENITES ET CHARNOCKITES
GNEISS ET LEPTYNITES
Granitisation?
métasomatose alcaline?
Gneiss à biotite et grenat
CHARNOCKITES RANOMENA
Diagramme des variations des pourcentages en cations
Suivant les valeurs décroissantes de Ca
(% Cations calculés selon la méthode Eskola)
Si = · Al = ⊙ Fe = × Mg = △ Na = ⊗ K = ⊡
70
60
50
40
30
20
10
0
Si
Al
Mg
Fe
Na
K
Ca
30
25
20
15
10
5
0
G.3104
Gneiss à pyroxène et wernérite
G.3074-a
Gneiss à pyroxène et wernérite
G.3047
G.3071
G.3078
G.3076
G.3075
G.3077
G.3069
G.3080
G.3103
G.3142-R
G.3082
G.3072
G.3058

49

Le diagramme de variations des pourcentages en cations suivant les valeurs décroissantes de Ca présente deux parties : - des pyroxénites aux charnockites granitiques, Si croît ainsi que Na, alors que Fe, Mg décroissent - des charnockites granitiques aux charnockites syénitiques, Si décroît ; K et Na croissent ; Fe, Mg décroissent. Nous retrouvons encore ici pour la charnockitisation la même conclusion que précédemment (granitisation suivie d'une métasomatose alcaline ou différenciation d'une roche dioritique originelle en éléments plus acides, d'une part, et plus basiques de l'autre).

F.- FACIES DE METAMORPHISME.- L'étude pétrographique précédente nous a montré que la paragenèse fréquemment observée dans les formations du complexe de Ranomena est la suivante : Hornblende + plagioclase + diopside ± hypersthène ± biotite ± quartz ± wernérite ± grenat. Cette paragenèse fait tout de suite penser au faciès granulite et particulièrement au subfaciès hornblende-granulite.

Le report des analyses sur le diagramme ACF (cf. Pl.50 page 192) du subfaciès granulite donne :

1º) Les gneiss à pyroxène et wernérite sont localisés dans le triangle wernérite-diopside-grossulaire.

2º) Les gneiss et leptynites, dans le triangle sillimanite-anorthite-almandin (ou biotite).

3º) Les charnockites se trouvent dans le quadrilatère hornblende-anorthite-almandin-hypersthène.

L'analyse 52 a donné une projection dans la zone sillimanite-anorthite-almandin (bien qu'assez voisine de la ligne anorthite-almandin néanmoins). Ce qui est anormal puisque la

roche correspondante est une charnockite à hypersthène mais sans grenat ni sillimanite. D'autre part, les roches correspondant aux analyses 50 et 56 devraient présenter l'association almandin-anorthite-hypersthène-biotite. Or l'étude pétrographique de ces roches montre l'absence de grenat pour 50 et 56 et la présence d'hypersthène pour 52. De toute manière, pour les roches relatives aux analyses 52, 50, 56, 49 et 48, l'étude pétrographique au microscope montre la présence de la magnétite et la paragenèse réelle observée ne correspond pas exactement avec celle donnée par le diagramme ; elle en est même très différente pour le n°52.

On peut se demander, ici, si ces anomalies ne sont pas dues à des instabilités des paragenèses observées ou bien au fait que les corrections pour minéraux accessoires auraient dû être effectuées.

Jusqu'ici, ne disposant pas d'analyses modales ni d'analyses au R.X., nous avons négligé totalement les corrections à apporter pour formation de magnétite et ilménite. La quantité de Ti à l'analyse étant faible, et comme un peu de Ti entre dans la composition de la biotite, nous estimons qu'il n'est pas grave de ne pas faire la correction pour le titane. Par contre, il serait intéressant de voir comment vont se déplacer les points représentatifs si des corrections sont apportées sur les paramètres ACF en formant de la magnétite.

Nous savons que la magnétite a pour formule $Fe_2O_3.FeO$, c'est-à-dire qu'il y a une molécule de FeO pour une molécule de Fe_2O_3. Comme les analyses montrent que l'on a toujours $Fe_2O_3 < FeO$, le maximum de molécules de magnétite qui puisse se former est égal au nombre de molécules de Fe_2O_3 donné par les analyses.

Si nous appelons "démagnétisation" cette correction à effectuer pour magnétite, elle consiste à calculer de nouveaux paramètres A'C'F' suivant le schéma suivant :

$$A' = [Al_2O_3] - \left([Na_2O] + [K_2O]\right)$$

$$C' = [CaO] - 3{,}3[P_2O_5]$$

$$F' = [MgO + MnO + FeO] - [Fe_2O_3]$$

avec $A' + C' + F' = 100$

Sur la planche n°50, les points nouveaux correspondent aux pointes des flèches. On peut constater que les pointes des flèches sont toutes alignées sur un point commun situé sur le côté AF qui représente la projection de la magnétite (en considérant A comme pôle de Fe_2O_3).

Les corrections réelles vont donc déplacer les points représentatifs quelque part sur les flèches.

On constate que les résultats obtenus se rapprochent des faits observés.

On peut donc dire que, pour la région de Ranomena, le faciès de métamorphisme est le même que celui que nous avons étudié jusqu'à présent dans les 3 premières régions (Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est et Tananarive), c'est-à-dire faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite.

Cependant, il faut remarquer ici le fait qu'il n'y a pas dans la région de Ranomena de grosses masses intrusives basiques et que, contrairement aux cas précédents, le faciès de métamorphisme des charnockites est celui de la région. Il y a tout lieu de penser que la charnockitisation s'est effectuée au cours du métamorphisme général qui a affecté la zone.

COMPLEXE CHARNOCKITIQUE DE RANOMENA

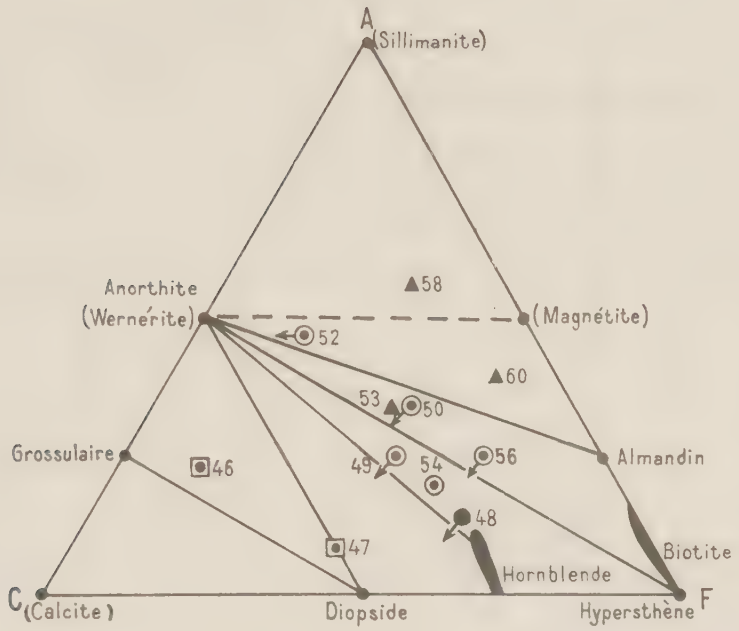


Diagramme ACF

Faciès granulite, subfaciès hornblende-granulite.

⊡ : Gneiss à pyroxène et Wernérite

● : Pyroxénite feldspathique

⊙ : Charnockites

▲ : Gneiss et léptynites

Indique le sens du déplacement des projections des roches lors de la "démagnétisation". La pointe de la flèche correspond à la "démagnétisation maximum" c'est-à-dire que tout le Fe_2O_3 est considéré comme entrant dans la composition de la magnétite.

46, 47, ... etc correspondent aux numéros des analyses chimiques (cf. pl. 46)

COMPLEXE CHARNOCKITIQUE DE RANOMENA

Valeurs des paramètres ACF

	Nº	Nature de la roche	A	C	F	A'	C'	F'
46	G.3104	Gneiss à pyroxène, wernérite et grenat	23	64	13			
47	3074a	Gneiss à pyroxène et wernérite	9	50	41			
48	3047	Pyroxénite feldspathique	14	28	58	7	34	59
49	3071	Charnockite gabbroïque	25	33	42	20	40	40
50	3078	Charnockite gabbroïque	34	26	40	31	30	39
52	3075	Charn. gabbroïque (quartzifère)	46	36	18	46	40	14
53	3077	Gneiss à biotite et grenat	33	29	38			
54	3069	Charnockite granitique	20	29	51			
56	3042	Charnockite syénitique	25	19	56	18	25	57
58	3082	Leptynite à grenat	55	15	30			
60	3072	Gneiss à orthose, biotite et grenat	39	10	51			

G.- <u>DONNEES ESSENTIELLES QUE L'ON PEUT TIRER DE L'ETUDE DU FACIES DE METAMORPHISME</u>.- Nous avons vu précédemment que le complexe de Ranomena a été soumis à un métamorphisme dont l'intensité est celle de la zone du faciès hornblende-granulite. Cette zone est intermédiaire entre celle du subfaciès le plus profond du faciès amphibolite (subfaciès sillimanite-almandin-orthose) et le subfaciès pyroxène-granulite du faciès granulite.

Le passage du subfaciès sillimanite-almandin-orthose au subfaciès hornblende-granulite est marqué par la réaction : hornblende ⟶ hypersthène (diminution de la hornblende et apparition de l'hypersthène).

Le passage du subfaciès hornblende-granulite au subfaciès pyroxène-granulite est marqué par :

1º) la transformation totale de la hornblende en hypersthène. Il n'y a plus de hornblende

2º) et par la réaction :

biotite + quartz ⟶ grenat + orthose + hypersthène + H_2O.

De ces données on peut tirer :

1º) Une roche d'origine pélitique ou arkosique donnera :

a) dans le subfaciès sillimanite-almandin-orthose du faciès amphibolite, la paragenèse suivante:
quartz + orthose + plagioclase + almandin + biotite;

b) dans le subfaciès hornblende-granulite, on observera la même paragenèse.

2º) Une roche d'origine marneuse donnera :

a) dans le subfaciès sillimanite-almandin-orthose, la paragenèse :
quartz + plagioclase + hornblende ± orthose ± almandin ± diopside ± biotite ;

b) dans le subfaciès hornblende-granulite :
quartz + hornblende + hypersthène + plagioclase + diopside ± orthose ± biotite.

3º) Une roche d'origine gabbroïdique (gabbro, basalte) montrera :

a) dans le subfaciès sillimanite-almandin-orthose, la paragenèse suivante :
hornblende + plagioclase + diopside ± quartz ;

b) dans le subfaciès hornblende-granulite :
hornblende + diopside + hypersthène + plagioclase ± quartz.

Conclusion : 1º) Une roche d'origine argileuse ou arkosique ne donne jamais de charnockite dans le subfaciès hornblende-granulite.

2º) Une roche d'origine marneuse donnera par métamorphisme dans la zone du faciès hornblende-granulite, une charnockite quartzo-dioritique ou grano-dioritique.

3º) Une roche d'origine gabbroïdique donnera par métamorphisme dans la zone du faciès hornblende-granulite, une charnockite dioritique ou quartzo-dioritique.

Autrement dit, une charnockite dioritique ou granodioritique, dans le faciès hornblende-granulite, peut être d'origine marneuse ou gabbroïdique.

On sait que dans le faciès hornblende-granulite, il suffit d'une petite quantité d'eau pour qu'il y ait anatexie.

Une charnockite dioritique ou granodioritique renfermant de la hornblende et de la biotite doit contenir un peu d'eau. Elle est donc susceptible, dans cette zone, de subir une anatexie. L'anatexie d'une telle roche donnerait par différen-

ciation, d'une part, des termes plus acides, plus riches en alcalins (granites, syénites) et, de l'autre, des termes appauvris en alcalins mais enrichis en éléments ferromagnésiens et calciques (gabbro, pyroxénites). Syénites et pyroxénites constitueront les deux pôles extrêmes de cette différenciation. L'on observera donc en définitive, une série charnockitique comprenant des charnockites gabbroïques, dioritiques, granodioritiques, granitiques et syénitiques qui sera associée à des pyroxénites.

Les observations que nous avons relevées au cours de notre étude pétrographique sur les formations charnockitiques de la région de Ranomena sont exactement conformes à cette hypothèse. Il y a donc lieu de penser que la série charnockitique de Ranomena dérive d'un gneiss à hypersthène, diopside et hornblende par différenciation anatectique dans la zone du faciès hornblende-granulite, plutôt que par granitisation d'une roche pyroxénitique à composition gabbroïque.

Les projections de ces charnockites sur un diagramme K_2O-Na_2O-CaO illustrent bien cette différenciation (cf. Pl.52, p.197). Nous voyons que l'on peut faire dériver les différents types charnockitiques observés dans cette région à partir d'une charnockite quartzo-dioritique par différenciation anatectique. On passe de la charnockite dioritique (paléosome) aux charnockites granitiques et syénitiques (leucosome) par enrichissement en K_2O et Na_2O, et aux charnockites gabbroïques et aux pyroxénites associées (mélanosome) par appauvrissement en K_2O et Na_2O et enrichissement en CaO. Il est évident que cette charnockite dioritique peut être d'origine marneuse ou gabbroïdique. Dans tout l'ensemble du Massif de Ranomena, il est possible que certaines charnockites soient d'origine marneuse, les autres d'origine gabbroïdique.

COMPLEXE CHARNOCKITIQUE DE RANOMENA

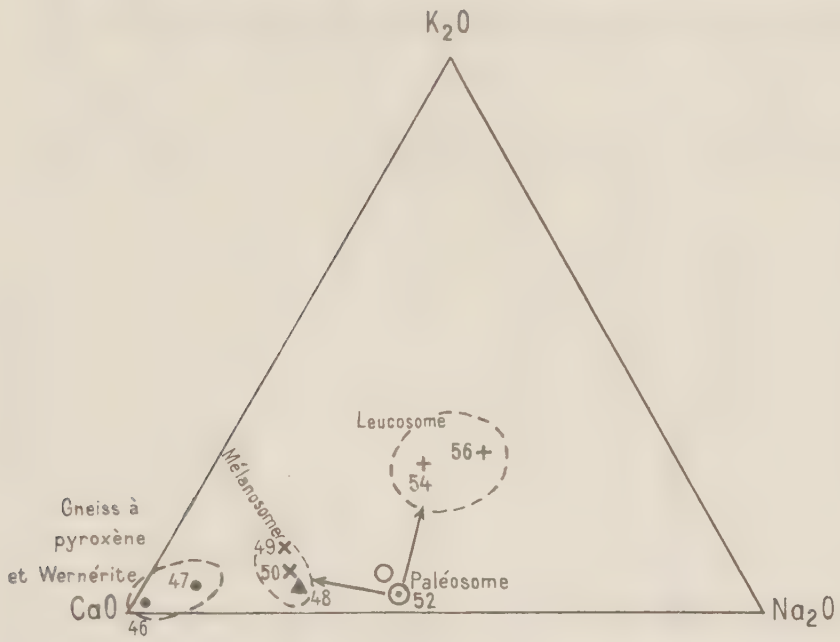


Diagramme $K_2O - Na_2O - CaO$, montrant

la composition migmatitique des charnockites de Ranomena

● = Gneiss à pyroxène et sphène

▲ = Pyroxénite feldspathique

○ = Gneiss à biotite et grenat

⊙ = Paléosome (gneiss à hypersthène, diopside-hedenbergite et hornblende de composition dioritique à granodioritique)

× = Charnockites basiques

+ = Charnockites granitique et syénitique

46, 47..... etc correspondent aux numéros des analyses

COMPLEXE CHARNOCKITIQUE DE RANOMENA

Diagramme K_2O - Na_2O - CaO

Nº	N a t u r e	K_2O	Na_2O	CaO
G.3104	Gneiss à pyroxène, wernérite et grenat	1	2	97
3074a	Gneiss à pyroxène et wernérite	5	9	86
3047	Pyroxénite feldspathique	5	24	71
3071	Charnockite gabbroïque	11	19	70
3078	Charnockite gabbroïque	7	22	71
3075	Charnockite dioritique quartzifère	3	41	56
3069	Charnockite granitique	27	33	40
3042R	Charnockite syénitique	29	41	30
	Paléosome	14	28	58
3077	Gneiss à biotite et grenat	7	37	56

H.- CONCLUSION SUR LES CHARNOCKITES DE RANOMENA.- 1º) Les charnockites de la région de Ranomena font partie d'un ensemble cristallophyllien qui a été affecté par un métamorphisme régional de faciès hornblende-granulite.

2º) Sur le terrain, les charnockites sont associées directement à des pyroxénites feldspathiques ou à des gneiss à pyroxène. Tous les intermédiaires possibles entre pyroxénites et charnockites granitiques existent. On peut avoir, en effet, des charnockites gabbroïques plus ou moins quartzifères, des charnockites dioritiques plus ou moins quartzifères et des charnockites granodioritiques. On remarque dans ce passage que les plagioclases deviennent de plus en plus acides et l'apparition du quartz. Enfin, entre les charnockites granitiques et syénitiques, on observe une augmentation des feldspaths potassiques et la diminution du quartz.

Les différents termes de cette série charnockitique ne peuvent être considérés comme entité pétrographique qu'à l'échelle de l'échantillon. A l'échelle de l'affleurement, les différents termes se présentent dans un ensemble migmatitique.

3º) L'étude générale du gisement de ce complexe de Ranomena a montré que les gneiss à pyroxène ou les pyroxénites feldspathiques associées directement aux charnockites ne renferment ni sphène ni wernérite.

La région présente pourtant, en certains endroits, des gneiss à wernérite. Par contre, dans la zone du complexe charnockitique proprement dit, le sphène n'a pas été signalé. Ce minéral n'existe d'une façon constante que dans la zone des gneiss à pyroxène et sphène qui longe la bordure Ouest du complexe. Mais, alors, cette zone est très pauvre en charnockite.

Cette incompatibilité du sphène avec les charnockites a été déjà remarquée par plusieurs auteurs, en particulier par les géologues indiens travaillant dans les régions charnockitiques de Mysore et de Madras de la péninsule indienne (C.S.PICHAMUTU, "The Charnockite problem", 1953).

L'absence du sphène tient aux conditions de métamorphisme. Les différents auteurs qui ont travaillé dans le faciès granulite indiquent d'une façon unanime l'instabilité de ce minéral dans le faciès granulite, dans les conditions normales. Si, par contre, on l'y observe, c'est que l'on a affaire à des roches très riches en calcium.

La wernérite également est une indication de la richesse des roches en calcium.

On peut donc dire que les charnockites ne sont pas en liaison directe avec les roches riches en calcium. D'autre part, l'on remarque également l'absence, dans la région de Ranomena, de liaison directe des charnockites avec les gneiss et leptynites.

4º) Les résultats de l'étude pétrologique précédente confrontés avec les données connues actuellement sur le métamorphisme dans la zone du faciès granulite, conduisent à attribuer aux charnockites de Ranomena une origine à partir de couches marneuses de la série sédimentaire originelle du complexe et de lames ou sills de formations gabbroïdiques (gabbro, basaltes) interstratifiés dans cette série. Lors du métamorphisme régional d'intensité hornblende-granulite, qui a affecté cet ensemble, les roches marneuses ainsi que les roches gabbroïdiques avaient donné des gneiss à pyroxène, diopside et hornblende qui sont des charnockites de composition allant de la diorite à la granodiorite. Ces charnockites dioritiques et granodioriti-

ques, par anatexie, se sont différenciées en termes plus basiques (gabbros et pyroxénites) et plus acides (granites et syénites). Les résultats de cette différenciation anatectique ont abouti à la série charnockitique associée aux pyroxénites que l'on observe actuellement dans cette région.

Chapitre VI

LES CHARNOCKITES DU SYSTEME ANDROYEN DE L'EXTREME SUD DE MADAGASCAR

A.- INTRODUCTION.- Nous avons déjà dit précédemment (p.162) que le Système Androyen fut défini par H.BESAIRIE en 1945, après ses Travaux dans l'Extrême Sud de Madagascar. Depuis, dans le cadre de l'établissement de la carte géologique de reconnaissance, J. BOULANGER et G.NOIZET en 1954-55 pour la partie occidentale, et H.de la ROCHE en 1955-56 pour la partie orientale, ont procédé au lever géologique au 1/200.000 accompagné de prospection générale de cet extrême Sud du socle précambrien malgache.

Dans cette zone, je n'ai pas entrepris d'études détaillées comme celles qui ont été faites dans les cinq massifs étudiés précédemment. Cependant, j'y ai effectué deux tournées en 1964 et en 1965, pour voir, d'une part, les faciès pétrographiques un peu particuliers de ce Système Androyen et, de l'autre, les charnockites qui s'y trouvent. J'ai prélevé lors de ces tournées quelques échantillons pour lames minces pétrographiques et analyses chimiques.

Les caractères pétrographiques des charnockites ici, dès le premier abord, sont nettement différents de ceux des cinq massifs étudiés précédemment. Aussi, je ne saurai terminer ce travail sur les charnockites de Madagascar sans parler de celles de l'Androyen.

B.- CARACTERES PETROGRAPHIQUES DU SYSTEME ANDROYEN.- Le Système Androyen comporte un ensemble cristallophyllien dont les termes essentiels sont :

1º- Des formations silico-alumineuses : Leptynites et gneiss à orthose, cordiérite, sillimanite, grenat et spinelle vert, qui constituent le faciès dominant.

2º- Des formations essentiellement siliceuses: Quartzites avec ou sans hypersthène, en bancs généralement minces.

3º- Des formations pyroxéniques comprenant des gneiss à diopside, des pyroxénites feldspathiques à wernérite, diopside et sphène, des pyroxénites à diopside avec ou sans phlogopite ou urano-thorianite.

4º- Des formations calciques : cipolins en bancs relativement de faible puissance.

D'une façon générale, on constate que le Système Androyen est caractérisé par un ensemble métamorphique relativement pauvre en minéraux hydroxylés et où orthose, pyroxène, grenat, cordiérite et sillimanite sont les minéraux courants. Ces données sont très significatives quant au caractère du métamorphisme régional. Daus une étude toute récente, G.NOIZET(1) attribue le faciès de métamorphisme du Système Androyen au subfaciès biotite-cordiérite-almandin du faciès granulite conformément aux nouvelles subdivisions établies par de WAARD.

C.- LES CHARNOCKITES DANS LE SYSTEME ANDROYEN.- Deux types de formations charnockitiques peuvent être distingués dans le Système Androyen :

---

(1) G.NOIZET, 1969 : Contribution à l'étude géochimique des formations métamorphiques du faciès granulite dans le Sud de Madagascar (Thèse Nancy).

1º) Dans le premier type, les charnockites se présentent en une série comportant des termes dioritiques, granodioritiques et granitiques et constituent un immense massif (10.000 km^2) s'allongeant de Fort-Dauphin au Sud jusqu'à Midongy du Sud au Nord (environ 500 km) sur 200 kilomètres de largeur.

2º) Dans le deuxième type, les charnockites se présentent en bancs peu puissants ne dépassant guère dix mètres d'épaisseur, interstratifiés dans les formations silico-alumineuses et caractérisés par l'association très constante quartz-orthose perthitique-plagioclase plus ou moins antiperthitique (oligoclase-andésine), hypersthène, biotite brune, grenat, pyrite, magnétite, parfois spinelle vert. Ce sont donc en réalité des granulites à hypersthène ; c'est la raison pour laquelle il conviendrait de les appeler charnockites granulitiques.

I.- LES CHARNOCKITES DES CHAINES ANOSYENNES.- Elles furent étudiées par H.de la ROCHE en 1955-1956. Malheureusement, je n'ai pas eu la possibilité d'étudier en détail cette vaste région qui, indubitablement, est très intéressante. H.de la ROCHE indique dans ses travaux(1) que la série charnockitique est intimement liée à des granites et qu'aucune séparation nette ne paraît possible entre les deux groupes. Les termes gabbroïques existent mais très rares. Les termes communs sont dioritiques ou granodioritiques. la paragenèse la plus fréquemment observée est à hypersthène, biotite brune et amphibole brune. La présence de grenat n'a été reconnue qu'en quelques rares points (pied Sud du Col du Manangotry

---

(1) H.de la ROCHE, 1958.- Etude géologique de l'Extrême Sud de Madagascar (zone d'intensité métamorphique élevée). Thèse Nancy.

et dans quelques carrières de la route entre Soanierana et Fort-Dauphin). Selon de la ROCHE, le grenat doit être considéré comme exceptionnel dans les Chaînes Anosyennes. L'absence du sphène ici dans les charnockites est tout aussi remarquable que dans les autres charnockites précédemment étudiées.

En 1964, j'ai effectué une coupe dans l'extrême Sud des Chaînes Anosyennes, partant du village de Isaka-Ivondro (à la base) jusqu'au col du Manangotry. A titre de comparaison avec les charnockites étudiées précédemment, je donne ci-dessous les descriptions pétrographiques des échantillons que j'ai prélevés lors de cette coupe :

1º) Echantillon G.3122 : Base Sud des Chaînes Anosyennes - Affleurement à la sortie du village Isaka-Ivondro sur la route de Ranomafana (Cote 40 mètres).

Il s'agit d'une roche grise, à grain moyen, apparemment non orientée. On observe à l'oeil nu deux types de feldspath : un type verdâtre charnockitique et un autre rose.

Au microscope, on observe la composition minéralogique suivante : quartz - orthose perthitique - plagioclase antiperthitique - myrmékite peu développée - hypersthène - hornblende brune - biotite brune rare - grenat et accessoirement apatite et magnétite. La structure est hétéroblastique. Il s'agit donc d'une charnockite granitique à hornblende et grenat.

2º) Echantillon G.3123 : Route de Ranomafana (Cote 300m)- La roche est vert foncé à grain moyen homogène, apparemment équante. Les cristaux de quartz et de feldspath présentent la coloration verdâtre charnockitique. On observe cependant quelques cristaux de feldspath rose.

L'examen de la lame mince au microscope polarisant donnent : quartz - andésine et plagioclase antiperthitique - orthose perthitique - un peu de myrmékite - hypersthène - hornblende brune rare - biotite brun-rouge rare - et accessoirement ilménite, apatite et zircon. La structure est hétéroblastique. L'hypersthène présente sur les bordures et dans les fissures une transformation en un minéral fibreux brun foncé à brun-jaune à petit angle d'extinction (= cummingtonite ?). Il s'agit ici d'une charnockite granitique à hornblende.

3º) Echantillon G.3124 : Route de Ranomafana (Cote 540 m) - La roche est grise, à grain moyen, apparemment non orientée. On remarque également l'association de feldspaths rose et verdâtre. Mais ici il y a prédominance de feldspath rose.

Au microscope, on distingue : quartz - oligoclase - orthose perthitique - myrmékite - hornblende - calcite - biotite brun-rouge - accessoirement ilménite et zircon. La structure est hétéroblastique. Il s'agit d'un granite à hornblende.

4º) Route de Ranomafana (Cote 620 m).

Le talus de la route présente à cet endroit un affleurement montrant le passage de la charnockite au granite. Trois échantillons ont été prélevés :

Echantillon G.3125 : La roche est vert foncé, à grain moyen, apparemment non orientée.

La composition minéralogique est la suivante : quartz - oligoclase - orthose perthitique - myrmékite - hypersthène et hypersthène serpentinisé - biotite rare et accessoirement magnétite. La structure est hétéroblastique. Il s'agit d'une charnockite granitique.

Echantillon G.3126 : C'est l'échantillon intermédiaire montrant le passage de la charnockite au granite.

La roche est vert foncé, à grain moyen, apparemment non orientée, à feldspath vert charnockitique et feldspath rose associés.

L'examen de la lame mince au microscope polarisant montre : quartz - porphyroblastes d'orthose - orthose perthitique - oligoclase-andésine - myrmékite - hypersthène - hypersthène montrant de la cummingtonite fibreuse brune dans les fissures et les bordures - hornblende - biotite brune - accessoirement zircon - magnétite et ilménite. Structure porphyroblastique. Il s'agit d'une charnockite à hornblende.

Echantillon G.3127 : La roche est rose à grain hétérogène. Minéralogiquement, elle est composée de : quartz - orthose perthitique - myrmékite - plagioclase - hornblende brune - biotite - magnétite (accessoirement). La structure est hétéroblastique. Il s'agit d'un granite à hornblende.

Conclusion sur cette partie Sud des Chaînes Anosyennes.- Les résultats de cette coupe sont très intéressants. En effet, on voit, d'une part, des charnockites à grenat et, de l'autre, du granite à hornblende brune. Entre ces deux pôles, des charnockites à hornblende brune.

Le granite à hornblende est à orthose perthitique, hornblende brune, biotite brun-rouge. Nous n'avons pas dans nos échantillons la présence de pyroxène. Néanmoins, le fait que l'on a affaire à de la hornblende brune et à une biotite brun-rouge, rapproche cette paragenèse à celle du faciès hornblende-granulite.

Les charnockites à hornblende présentent une paragenèse du faciès hornblende-granulite.

Dans les charnockites à grenat, la présence de l'orthose perthitique avec l'hypersthène et le grenat fait tout de suite penser au faciès pyroxène-granulite. Cependant, l'existence de la hornblende brune rapporte le faciès au faciès hornblende-granulite.

En définitive, la zone de métamorphisme de la région correspond à celle du hornblende-granulite.

De l'étude pétrographique précédente, cependant, nous avons pu constater que, d'une façon générale, bon nombre de cristaux de pyroxène présentent un début de transformation en hornblende de teinte brune. Il y a donc lieu de penser que les charnockites avaient subi une rétromorphose et qu'auparavant elles devaient montrer l'association quartz-orthose perthitique-andésine-hypersthène-grenat, c'est-à-dire une association caractéristique du faciès pyroxène-granulite. Un métamorphisme ultérieur dans la zone du faciès hornblende-granulite a provoqué la transformation d'un certain nombre de cristaux d'hypersthène en hornblende brune. C'est au cours de ce dernier métamorphisme que s'est produite la granitisation qui a affecté les charnockites.

Je ne connais pas la partie septentrionale des Chaînes Anosyennes, mais la paragenèse à hypersthène, hornblende brune et biotite brune indiquée par H. de la ROCHE (1958) rapporte manifestement le faciès de métamorphisme de cette région dans la zone du faciès hornblende-granulite. Nous nous trouvons donc ici dans un cas comparable à celui de la région de Ranomena et il est fort possible qu'ici aussi la série charnockitique que H.BESAIRIE (1948) et H. de la ROCHE (1958) ont signalée lors de leurs levers, résulterait de l'anatexie d'une charnockite grano-

dioritique ou dioritique initiale et qui, par différenciation, aurait donné les différents termes de la série (gabbro, diorite et granite).

En conclusion, les charnockites des Chaînes Anosyennes seraient du type migmatitique que l'on rencontre dans la zone du faciès hornblende-granulite.

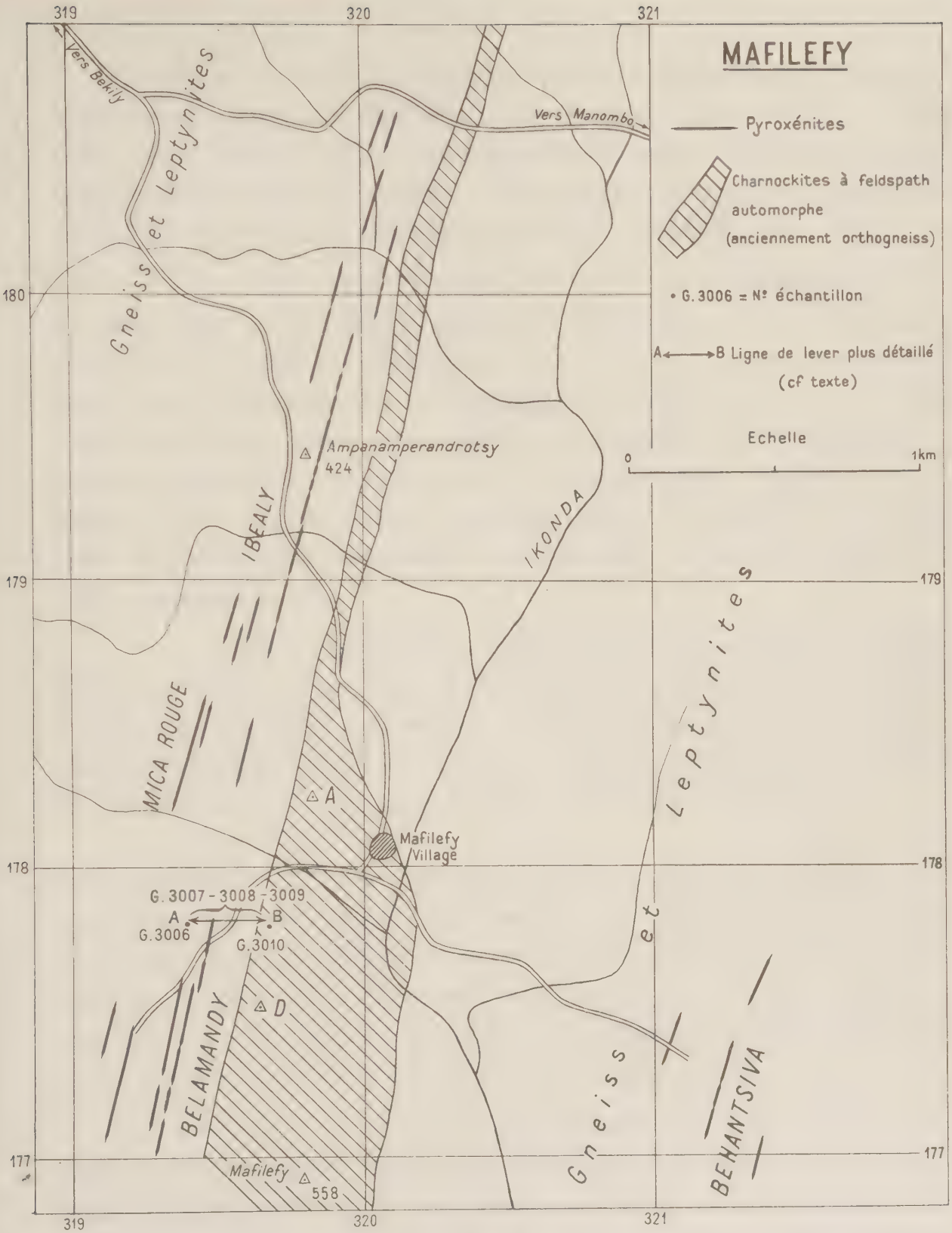
II.- LES CHARNOCKITES GRANULITIQUES.- On les rencontre en bancs de faible puissance au sein des leptynites à cordiérite, sillimanite et grenat. Elles constituent d'ailleurs des repères zonéographiques importants puisqu'elles permettent de situer avec plus de précision la zone dans laquelle on se trouve, les leptynites à cordiérite, sillimanite et grenat ayant une latitude de stabilité très large couvrant toute la zone allant du faciès amphibolite au faciès granulite.

Au PK.487 de la route de Fort-Dauphin - Tananarive (carrière SCAB), on peut observer une telle charnockite. La roche est à grain fin, orientée, vert foncé. Au microscope, on constate une structure hétéroblastique avec quartz, oligoclase, orthose, myrmékite peu abondante, hypersthène, biotite brune, grenat et accessoirement apatite, magnétite.

Mais le gisement le plus intéressant qui se prête bien à l'étude de ces types de charnockite est celui de Mafilefy. A cet endroit, les charnockites sont associées à des pyroxénites à mica phlogopite dont l'exploitation en profondeur a permis de mettre à jour de beaux échantillons de charnockite à grenat.

1º- Historique.- Le gisement de Mafilefy est très connu.

- H.BESAIRIE fut le premier à l'étudier (1948). Il le rattacha au groupe paragneissique d'Ampandrandava composé surtout



CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE MAFILEFY

d'après le lever de H. BESAIRIE (1948)

54

de leptynites et gneiss grenatifères avec rares bancs d'amphibolites et quelques quartzites. Il en a établi une carte de détail (cf. p.210, planche nº54). Les données essentielles de ce travail sont publiées dans l'ouvrage "Recherches géologiques à Madagascar 2e suite. 2e volume" (Bureau géologique - Tananarive 1948).

- En 1953, dans le cadre d'une étude des exploitations de mica dans le Sud de Madagascar, P.BRENON procéda au lever de détail de la mine de Mafilefy. Il indiqua à la suite de ces travaux que les pyroxénites à phlogopite de Mafilefy sont enrobées "par une couche mince très continue de malgachites fréquemment hololeucocrates et porphyroïdes passant souvent ensuite à des gneiss à biotite et grenat malgachitiques" (P.BRENON : Le gisement de Mafilefy - Monographie provisoire. Service géologique, 1953. Archive A.674).

- En 1953 également, G.NOIZET procéda au lever géologique accompagné de prospection générale de la région (feuille Imanombo J.61). Les résultats de ce lever furent publiés en 1954 dans le TBG nº57 du Service Géologique. La carte géologique en 2 couleurs au 1/200.000 de la feuille Imanombo fut imprimée en 1954.

2º- Gisement.- Le fond géologique de la région de Mafilefy est constitué par un ensemble de gneiss et leptynites à grenat avec de rares bancs d'amphibolites et de cipolins, quelques bancs minces de quartzites. Les minéralisations en mica phlogopite sont localisées dans deux lignes de pyroxénites orientées NNE-SSW, se présentant en bancs ou lentilles discontinues.

Les bancs de pyroxénites sont généralement minces, un à quatre mètres, guère plus. Les travaux de mine ont montré qu'ils sont enveloppés par des charnockites à grenat qui ont fourni des échantillons très caractéristiques. Passant par le village de

Mafilefy et conformément à la direction générale des couches de la région (NNE-SSW), on peut observer un banc de charnockite à feldspath automorphe interstratifié dans les leptynites et présentant en cet endroit une puissance atteignant environ 500 mètres. Une coupe AB perpendiculaire à la pyroxénite minéralisée (cf. pl. nº 54, p.210) donne de A en B la succession suivante :

- Leptynite (Echantillon G.3006)
- Pyroxénite (Ech. G.3007)
- Charnockite à grenat (Ech. G.3008)
- Pyroxénite pegmatoïde minéralisée en mica phlogopite (Ech. G.3009)
- Charnockite à grenat
- Pyroxénite
- Leptynite
- Charnockite à feldspath automorphe.

Il est difficile de donner des chiffres exacts sur l'épaisseur des divers bancs à cause du recouvrement. On peut dire seulement que la pyroxénite pegmatoïde ne dépasse pas quatre mètres. Les bancs de pyroxénite et de charnockite à grenat ne dépassent pas dix mètres. Entre A et B il y a environ 300 mètres.

3º- Pétrographie.- J'ai étudié, d'une part, les lames minces de la collection générale du Service Géologique, relative aux échantillons prélevés dans la mine de Mafilefy (mine d'Andavabe) par P.BRENON (1954) et, d'autre part, les lames minces relatives à des échantillons que j'ai prélevés en 1964 sur des affleurements en surface.

a) Les leptynites : Ce sont des roches leucocrates à grain fin et quartz aplati. L'étude de l'échantillon G.3006 au microscope

polarisant a donné la composition minéralogique suivante : quartz - orthose microperthitique - plagioclase antiperthitique - grenat - biotite brune - magnétite. La structure est hétéroblastique.

b) Les pyroxénites : Ce sont des roches vert foncé à noires. Macroscopiquement on distingue deux types : un type à grain moyen, orienté (pyroxénite grenue) et un type à gros cristaux à allure pegmatitique ne présentant aucune orientation (pyroxénite pegmatoïde).

1.- Pyroxénites grenues : Les travaux miniers ont montré que leur composition est très variable. La roche de base est constituée par du diopside abondant, bytownite, spinelle vert (hercynite). Sur ce fond les variations connues sont :

- les types à diopside seul
- les types à phlogopite : bytownite - diopside - phlogopite - calcite - anhydrite - hercynite - pyrite.
- les types à wernérite : anorthite - diopside - wernérite et parfois un peu de sphène - pyrite.
- les types à hypersthène : labrador - diopside - hypersthène - biotite - magnétite.

L'échantillon G.3007 prélevé en surface rentre dans cette catégorie (= labrador - diopside - hypersthène - magnétite - apatite. Structure granoblastique).

2.- Pyroxénites pegmatoïdes : Leur composition est celle des types grenus à phlogopite avec parfois de la wernerite (bytownite - diopside - wernérite - phlogopite - calcite - anhydrite - hercynite - pyrite), mais où les cristaux sont énormes et il n'y a aucune trace d'orientation. Dans ces bancs se trouvent des poches pegmatoïdes où les cristaux de phlogopite de dimension monstrueuse atteignent parfois la dimension du mètre et

sont accompagnés d'un cortège minéralogique exceptionnellement riche en gros cristaux (molybdénite, apatite, sphène, zircon, spinelle, anhydrite). Les travaux miniers sont orientés uniquement dans la recherche de ces poches, et portent donc essentiellement sur les bancs de pyroxénites pegmatoïdes.

c) Charnockites à grenat : Elles enveloppent les bancs de pyroxénites pegmatoïdes. Ce sont des roches à composition minéralogique homogène mais de texture variable, allant du type à grain moyen homogène au type hétérogène où les cristaux de feldspaths ou de grenat sont développés et ont une dimension dépassant le centimètre. Dans tous les cas cependant, la roche présente une orientation bien nette et les feldspaths ont la coloration malgachitique caractéristique.

La composition minéralogique de base est la suivante : quartz - orthose microperthitique - andésine et plagioclase antiperthitique - hypersthène - biotite brune - grenat - accessoirement apatite, magnétite. La structure est granoblastique à hétéroblastique. Le grenat est parfois très abondant.

Les travaux miniers ont montré qu'il y a des passages (fort rares) présentant de la hornblende brune. L'échantillon R.5737, par exemple, donne : quartz - orthose microperthitique - andésine - hypersthène - hornblende brune - hornblende brune à bordure d'hypersthène - apatite - magnétite - zircon - calcite. Structure granoblastique. Cet échantillon est très intéressant car il montre le passage de la hornblende à l'hypersthène et que la hornblende est ici à l'état résiduel.

d) Charnockites à feldspath automorphe : Ces formations ont été cartographiées sous le terme de "orthogneiss oeillé". Mais leur composition minéralogique indique nettement qu'il s'agit là de

charnockites. Il est fort possible que la coloration malgachitique ait disparu en surface. Comme le montre la carte, ces roches bien individualisées ont un développement important formant une large bande très épaisse au Sud et formant relief dans le paysage.

Ce sont des roches à orientation nette, à grain hétérogène où les cristaux quartzo-feldspathiques sont assez développés et peuvent atteindre le centimètre tandis que les cristaux de ferromagnésiens sont moyens à petits (2 à 3 millimètres ou plus petits). Leur composition minéralogique est la suivante (G.3010): quartz - orthose perthitique - oligoclase - myrmékite rare - hypersthène et hypersthène avec noyau de hornblende - hornblende brune - biotite rare et accessoirement apatite, magnétite, zircon. La structure est hétéroblastique.

Ici encore, on voit le passage de la hornblende à l'hypersthène. La hornblende est ici indubitablement à l'état résiduel.

e) Cipolin : Ils doivent être rares. Dans la région, seuls les travaux miniers ont décelé leur présence. Ce sont des roches grises à grain hétérogène, montrant de gros grains de calcite blanche, du spinelle noir, du pyroxène, de la pyrite et du mica. Au microscope, on voit un ensemble granoblastique avec calcite - spinelle (hercynite) - wernérite - pyrite et péridot serpentinisé dans les fissures.

f) Amphibolites à diopside : De même que les cipolins, ces roches sont rares et doivent probablement correspondre à des niveaux résiduels. Leur composition minéralogique est la suivante : hornblende - pargasite - diopside - wernérite - pyrite. Structure granoblastique.

4º- Faciès de métamorphisme.- Les paragenèses observées dans les différentes formations du gisement de mica de Mafilefy rapportent leur faciès de métamorphisme au subfaciès pyroxène-granulite du faciès granulite. Le report des paramètres ACF et A'FK relatifs aux différentes analyses chimiques est conforme à ce que l'on attendait (cf. pl. nº55, p.217).

5º- Origine des charnockites.- Le faciès granulite est caractérisé par l'association quartz - orthose - plagioclase - hypersthène. Cette association résulte de déshydratations successives des formations de la série sédimentaire originelle, les différents termes de ces déshydratations étant :

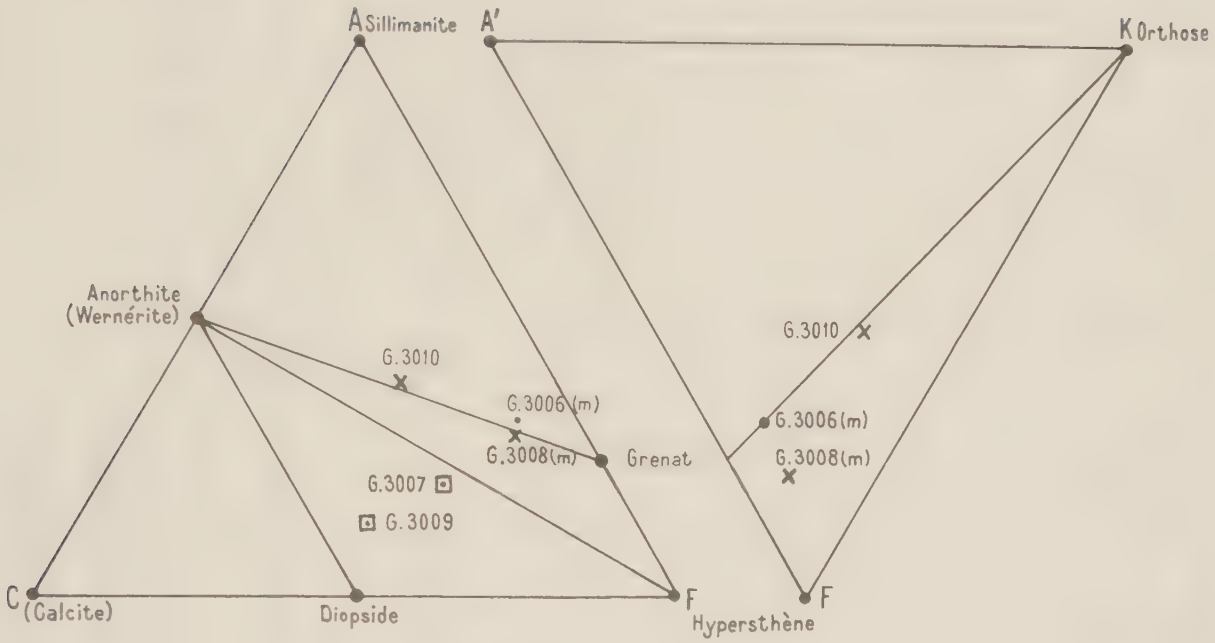
- Muscovite + Quartz = Orthose + Sillimanite + Eau
- Biotite + Sillimanite = Orthose + Cordiérite + Eau
- Biotite + Quartz = Hypersthène + Orthose + Eau.

D'une façon générale, les roches d'origines silico-alumineuses vont présenter la composition suivante : quartz, orthose perthitique, plagioclase, grenat. Suivant le cas, on peut avoir de la sillimanite, de la cordiérite, de la biotite brune et de l'hypersthène.

Les roches d'origines marneuses ou gabbroïdiques (calco-magnésiennes) ont la composition : plagioclase + hypersthène + diopside ± quartz ± orthose + grenat. Si la roche est très calcique, on peut avoir de la wernérite et même du sphène. La hercynite est souvent signalée dans les formations du faciès granulite. Il en est de même de la magnétite et de la pyrite.

Il n'y a donc aucune difficulté à admettre l'origine des charnockites de Mafilefy dans le cadre d'une série sédimentaire. Il y a lieu de penser que les charnockites à feldspath automorphe seraient dues à une légère mobilisation des éléments

CHARNOCKITES DE MAFILEFY



Diagrammes ACF et A'FK

Faciès granulite, subfaciès pyroxène-granulite

• : Leptynite

X : Charnockite

⊡ Pyroxénite

Voir analyses chimiques p. 196

Valeurs des paramètres ACF et A'FK

Nos	Nature roche	A	C	F	A'	F	K
G.3006(m)	Leptynite à grenat	31	10	51	22	69	9
G.3007	Pyroxénite	20	27	53			
G.3008(m)	Charnockite à grenat	29	11	60	14	78	8
G.3009	Pyroxénite wernéritique	13	42	45			
G.3010	Charnockite à feldspath automorphe	40	23	37	17	51	32

GISEMENT DE MICA DE MAFILEFY

Tableau des analyses chimiques

Indicatif	(1) G.3006(a)	G.3006(b)	G.3006(m)	G.3007	G.3008	(2) 19.436	G.3008(m)	G.3009	Echantil. A.LACROIX	G.3010
Origine	Mafilefy	Mafilefy	Moyenne des deux analyses précéd.	Mafilefy	Mafilefy	Mafilefy	Moyenne des deux analyses précéd.	Mafilefy	Mafilefy	Mafilefy
Roche	Leptynite à grenat	Leptynite à grenat	Leptynite à grenat	Pyroxénite	Charnock. à grenat	Charnock. à grenat	Charnock. à grenat	Pyroxénite pegmatoïde à wernér	Pyroxénite wernéritique	Charnock. à feldspath automorphe
SiO_2 ...	52,3	55,0	53,6	45,8	40,5	45,1	42,8	43,2	43,64	59,5
Al_2O_3 ..	19,8	21,2	20,5	18,7	22,4	19,8	21,1	13,6	15,71	18,2
Fe_2O_3 ..	tr	10,2	1,0	tr	16,5	1,8	1,8	0,8	1,88	2,7
FeO	8,3		8,3	12,1		14,4	14,4	3,3	2,25	3,9
MgO	4,3	4,7	4,5	4,9	1,7	7,2	4,5	14,0	8,74	1,3
CaO	2,0	3,0	2,5	8,7	9,3	1,4	5,4	20,9	23,64	3,6
Na_2O ...	4,2	2,9	3,6	3,4	1,2	3,2	2,2	0,7	1,30	3,0
K_2O	5,0	0,7	2,8	1,5	3,8	2,2	3,0	1,5	0,49	5,0
TiO_2 ...	1,2	1,1	1,1	2,8	1,1	0,9	1,0	0,4	1,59	1,2
P_2O_5 ...	0,2	0,1	0,2	0,4	2,1	1,6	1,8	0,4	0,11	0,4
MnO					tr	0,1	0,1		0,25	
H_2O+ ...	1,5	0,6	1,0	1,3	0,7	1,5	1,1	1,3	0,26	0,8
H_2O- ...	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,16	0,1
Total ..	98,95	99,6	99,2	99,7	99,5	99,3	99,4	100,4	100,02	99,7
Analyste	(3) Rz	(4) Ro		Rz	Ro	(5) R		Rz	(6) Ra	Rz
Date ...	29-9-65	12-9-67		29-9-65	28-8-67	22-12-59		29-9-65	1941	29-9-65

(1) G = Indicatif Echantillon A.RAZAFINIPARANY
(2) Echantillon Collection générale du Service Géologique
(3) Rz = R.RAZAFINDRATANDRA
(4) Ro = B.ROUSSEL
(5) R = F.RUF
(6) Ra = RAOULT

provoquée par un début d'anatexie localisée du fait que ces roches n'étaient pas entièrement anhydres (on voyait, en effet, lors de l'étude pétrographique, la présence de hornblende brune dans ces roches).

Les charnockites à grenat de Mafilefy correspondent exactement à la paragenèse définissant le subfaciès pyroxène-granulite. C'est un granulite typique. Cependant, on peut se poser le problème de son association avec les pyroxénites à phlogopite.

Peut-on voir ici une liaison charnockite-pyroxénite comme dans les cas précédents (Ranomena et Marojejy) ?

La première remarque qui s'impose alors est que la composition de la charnockite est constante (granodioritique) et que l'on n'a pas ici les différents termes intermédiaires entre pyroxénite et charnockite granodioritique. D'autre part, le contact pyroxénite-charnockite est généralement franc. Il y a donc lieu d'admettre que cette association doit résulter d'un changement dans le faciès de sédimentation originelle.

La présence d'amphibolite résiduelle, et parfois d'hypersthène à noyau de hornblende, indique une origine marneuse pour les charnockites à grenat, mais suffisamment potassique et silico-alumineuse pour que l'on puisse avoir de l'orthose.

Les différents auteurs ayant travaillé sur les pyroxénites de l'Extrême Sud de Madagascar attribuent à ces roches une origine à partir de marnes généralement magnésiennes, pauvres en potasse (A.LACROIX 1941, H.BESAIRIE 1948 et G.NOIZET 1969). Le problème qui se posait alors était celui de l'origine de la minéralisation en phlogopite. A.LACROIX la reliait à un magma granitique en formulant l'hypothèse de la formation phlogopite-calcite-pyroxène par l'action localisée sur la pyroxénite de miné-

ralisateurs puissants. G.NOIZET, cependant, a montré par des essais pétrogénétiques que les pyroxénites minéralisées en phlogopite correspondaient à d'anciens faciès sursalés dont la phase argileuse des marnes originelles renfermait de l'illite en proportion notable.

D.- CONCLUSION.- On peut distinguer deux types de charnockite dans le Système Androyen.

1º) Un type comparable aux charnockites de Ranomena, qui constitue les chaînes anosyennes dont l'extension est considérable. Ce sont des charnockites migmatitiques qui se sont formées dans la zone du faciès hornblende-granulite par métamorphisme et anatexie.

La partie Sud du massif montre des traces de polymétamorphisme évident. Les charnockites à grenat que l'on rencontre dans la région du Col de Manangotry au Nord de Fort-Dauphin se seraient formées dans la zone du faciès pyroxène-granulite, mais elles auraient été reprises dans un métamorphisme ultérieur dans la zone du faciès hornblende-granulite. C'est au cours de ce dernier métamorphisme que se sont formés les granites qui sont intimement associés aux charnockites.

2º) Un type se présentant en bancs de faible puissance caractérisés par une composition constante quartz - orthose perthitique - plagioclase - hypersthène - grenat avec ou sans biotite et hercynite. Ce sont des charnockites granulitiques qui se sont formées dans la zone du faciès pyroxène-granulite, au sein de la série cristallophyllienne par déshydratations successives, la phase ultime étant marquée par la transformation de la hornblende en hypersthène et par la réaction bien connue : quartz + biotite = orthose + hypersthène + grenat + eau.

2e partie

CARACTERES RADIOCRISTALLOGRAPHIQUES DES FELDSPATHS POTASSIQUES DES CINQ MASSIFS CHARNOCKITIQUES ETUDIES

RESUME.- Pour les cinq massifs, Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est, Tananarive, Ranomena, Marojejy, la symétrie des feldspaths potassiques des charnockites et de leurs enveloppes a été étudiée.

Les résultats obtenus renforcent les données essentielles acquises lors de l'étude pétrologique :

1º- Massifs de Soavinandriana-Betafo et de Manakambahiny-Est.- Les feldspaths potassiques des charnockites sont sous forme d'orthose monoclinique ou de faible triclinisme, tandis que ceux des enveloppes migmatitiques sont sous forme de microcline maximum et de microcline intermédiaire. La symétrie de l'enveloppe indique une cristallisation dans la mésozone, ce qui est conforme aux données pétrologiques. En ce qui concerne les charnockites, la présence d'orthose monoclinique à l'état stable dans la mésozone ne peut s'expliquer que par une baisse notable de la pression de vapeur d'eau.

Ceci est conforme aux données de la pétrologie étudiée précédemment.

2º- Massif de Tananarive.- Les enveloppes présentent du microcline maximum et du microcline intermédiaire, ce qui indique une cristallisation dans la mésozone. Les feldspaths alcalins des charnockites sont sous forme d'orthose de faible triclinisme vers le centre du massif et de triclinisme plus élevé vers la bordure.

Ceci peut s'expliquer par les données de la pétrologie, c'est-à-dire : Dans un premier temps, cristallisation d'orthose monoclinique ou de faible triclinisme, sous des conditions thermodynamiques comparables à celles des charnockites de Soavinandriana-Betafo. En deuxième temps, cristallisation dans les bordures des noyaux charnockitiques de microcline intermédiaire sous les conditions de la mésozone.

3º- Massif de Marojejy.- Les charnockites sont en bancs au sein d'une série cristallophyllienne. Leurs feldspaths potassiques ont un triclinisme variable, allant de l'orthose monoclinique au microcline maximum. Il en est de même des leptynites et gneiss de la série cristallophyllienne.

Ceci indique une cristallisation de l'ensemble sous les conditions de la mésozone. Ce qui est conforme aux données pétrologiques.

4º- Massif de Ranomena.- Les charnockites sont ici aussi en bancs au sein d'une série cristallophyllienne. Leurs feldspaths potassiques par contre sont de l'orthose monoclinique ou de faible triclinisme.

Ceci implique une cristallisation dans la catazone. Ce résultat est conforme aux données acquises lors de l'étude pétrologique.

o

o o

A.- CARACTERES OPTIQUES DES FELDSPATHS POTASSIQUES

I.- DANS LES CHARNOCKITES.- Les feldspaths potassiques se rencontrent dans les charnockites granitiques, et surtout dans les charnockites syénitiques.

Dans les types granitiques, les cristaux sont petits à moyens, ne dépassant guère les 3 millimètres ; par contre, dans les types syénitiques, ils sont généralement grands et dépassent parfois la taille du centimètre.

Une des principales caractéristiques des feldspaths des charnockites est leur coloration : ce sont les feldspaths qui donnent aux charnockites leur coloration foncée, même si la roche est leucocrate. Quand la roche est fraîche, les feldspaths sont d'un bleu-vert foncé caractéristique. Mais cette couleur ternit vite à l'air libre et devient bientôt vert foncé. Sur le terrain, les feldspaths altérés, jusqu'à un certain degré seulement cependant, ont une coloration jaune miel à brune(1). En surface, par contre, dans la zone soumise à l'effet continuel des eaux de pluie atteignant deux à trois centimètres, cette coloration disparaît et le feldspath devient blanc. Il s'ensuit que les charnockites sont généralement, à l'affleurement, recouvertes par une croûte blanchâtre dont il faut toujours se méfier et qu'il faut enlever à l'aide d'une masse pour faire apparaître la coloration charnockitique.

Les cristaux de feldspaths potassiques des charnockites présentent des cassures huileuses comparables à l'aspect que donnent les cristaux de quartz dans les roches granitiques.

---

(1) C'est la coloration du faciès malgachitique. Nous avons déjà donné à la page 10, les résultats des travaux effectués par différents auteurs sur l'origine de cette coloration.

Au microscope, les plages sont presque toujours perthitiques avec des perthites qui peuvent être très fines. Elles sont généralement parcourues par des fissures qui sont tapissées par un élément rouge vif très réfringent. Beaucoup d'auteurs pensent qu'il s'agit là d'oxydes de fer. La macle de CARLSBAD est assez fréquent. Nous n'avons rencontré, au cours de nos études de lames minces, de macles multiples comme celles du microcline que dans le Massif de Marojejy.

Optiquement, les feldspaths potassiques des charnockites des différents massifs étudiés sont homogènes et présentent tous les caractères de l'orthose. Les quelques mesures d'angle d'axe que nous avions pu effectuer ont donné des valeurs de 2V variant de -50º à -80º. Il est donc bien évident que quelques précisions étaient nécessaires.

II.- <u>DANS LES ENVELOPPES</u>.- Les feldspaths potassiques des enveloppes tranchent nettement sur ceux des charnockites. Ils se présentent en cristaux généralement moyens de 2 à 3 mm, de coloration blanche ou rose. Au microscope, dans les migmatites, les gneiss et les leptynites, l'on rencontre surtout du microcline (parfois perthitique) présentant le moirage caractéristique. Seuls, dans la région de Ranomena, les feldspaths potassiques des roches associées aux charnockites présentent des caractères qui les rapprochent de l'orthose.

Optiquement donc, les feldspaths potassiques des enveloppes sont homogènes dans l'ensemble et leurs caractères les rapprochent de ceux du microcline. Ici aussi, quelques précisions s'avéraient nécessaires.

o

o o

B.- SYMETRIE DES FELDSPATHS POTASSIQUES

Pour avoir plus de précisions sur la nature de la symétrie cristalline des feldspaths potassiques des charnockites et de leurs enveloppes, j'ai appliqué la méthode des analyses aux Rayons X. Cette méthode utilise les diagrammes de poudre en se servant des raies 131 et $1\bar{3}1$.

On sait en effet que l'écartement d de ces deux raies est maximum ($d=d_o$) dans les feldspaths potassiques les plus tricliniques (microcline maximum) et que les deux raies sont confondues et ne forment qu'une seule raie ($d=o$) dans le cas des feldspaths potassiques monocliniques (orthose). Entre ces deux extrêmes, il existe toute une série de feldspaths potassiques intermédiaires pour lesquels $o < d < d_o$. Pour une certaine valeur de d , il n'y a plus qu'une seule raie, mais celle-ci est élargie et montre bien qu'il ne s'agit pas d'orthose.

Tout feldspath potassique pourra être classé par un indice P appelé pourcentage de triclinisme tel que

$P = \frac{100d}{d_o}$ (J.R.GOLDSCHMIDT et F.LAVES 1954).

Le travail matériel le plus délicat est celui de l'extraction. Il s'agit en effet d'extraire de la roche, un produit qui soit du feldspath potassique le plus pur possible. Ceci est très difficile surtout dans le cas des feldspaths perthitiques, cas très courant dans les charnockites. Après broyage de l'échantillon (sous 80 meshes ou sous 100 meshes si l'échantillon est très perthitique), on le fait passer au séparateur magnétique puis on sépare les feldspaths potassiques à la liqueur dense et on les trie à la main après coloration au cobaltinitrite de sodium. Les feldspaths obtenus sont broyés très finement et ont été ensuite passés au diffractomètre Philips à

compteur Geiger, Raie KαCu, du Laboratoire de Physique de la Faculté des Sciences de Tananarive.

Deux séries de diagrammes ont été effectuées, l'une pour tester la pureté à sensibilité faible et à déroulement maximum du papier enregistreur, de 4º (2 θ) à 90º (2 θ), l'autre pour les mesures de P, à sensibilité plus grande et vitesse minimum de déroulement de papier, allant de 26º (2 θ) à 34º (2 θ).

Les résultats obtenus ont été portés sur le tableau de la planche nº57, page 227.

o

o o

57

TABLEAU DES RESULTATS DE L'ETUDE AUX RAYONS X DES FELDSPATHS POTASSIQUES DES CHARNOCKITES DE MADAGASCAR ET DE LEURS ENVELOPPES

Indicatif	Provenance	Roches	P
	I.- Soavinandriana-Betafo		
A. 50	Massif charnockit.	Charnockite granit.	9
A. 84	"	Charnockite syénit.	9
A. 88	"	"	11
A.140	"	Charnockite granit.	9
A.143	"	Charnockite syénit.	13
A.199	"	"	15
A.273	"	Charnockite granit.	7
A.289	"	"	9
A. 78	Enveloppes du massif	Migmat.à hornblende	18
A.156	"	"	80
A.177	"	"	44
A.197	"	"	82
	III.- Tananarive		
A.413	Massif charn. Ilafy	Charnock.granodior.	13
A.432	"	"	14
A.506	"	"	18
Institut Pasteur	Charnock.en enclave dans granite	Charnockite granit.	19
A.511	"	"	19
A.419	Enveloppe charnock.	Migmatites	34
A.469	"	"	88
A.517	"	"	82

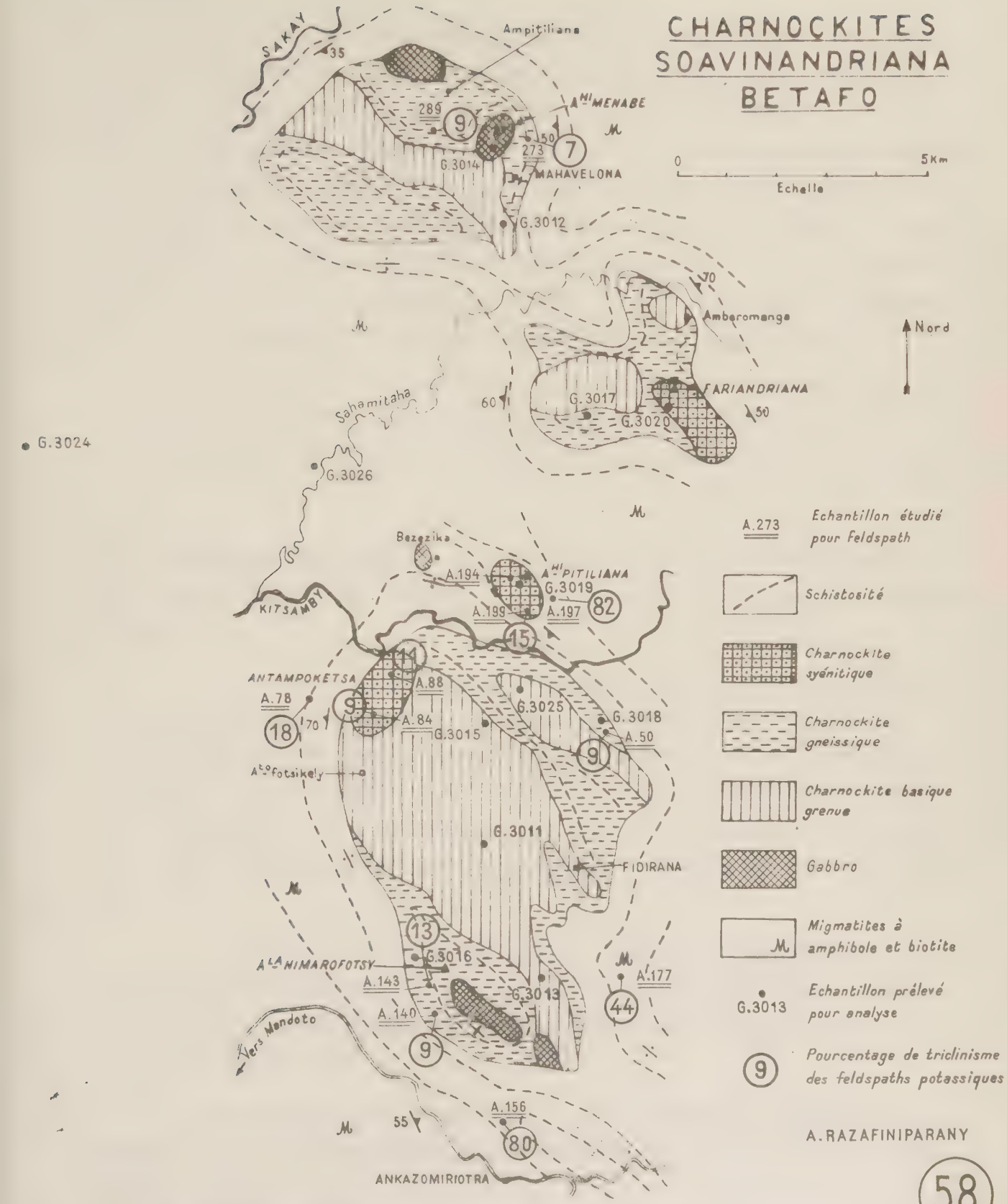
Indicatif	Provenance	Roches	P
	II.- Manakambahiny-Est		
A.353	Massif charnockit.	Charnockite granit.	0
A.362	"	"	7
A.375	"	Charnockite syénit.	11
A.382	"	"	0
A.346	Roches associées aux charnockites	Leptynite	25
A.352	"	Gneiss	96
	IV.- Ranomena		
G.3042	Massif charnockit.	Charnockite syénit.	0
G.3062	"	Charnockite granit.	18
G.6320	"	Charnock.granodior.	8
G.6578	"	"	10
G.3065-b	Roches associées aux charnockites	Migmatite à hornblende	19
G.3082	"	Leptynite à grenat	15
G.3095	"	Migmatite	15
G.6343	"	Leptynite à grenat	13
	V.- Marojejy		
G.3150	Massif charnockit.	Charnockite syénit.	15
G.3155	"	Charnockite granit.	14
G.3160	"	"	0
G.3181	"	"	11
G.3186	"	"	11
G.3245	"	Charnock.syénit. à grenat	94
G.3275	"	Charn.granit.à grenat	11
G.3277	"	Charnockite granit.	15
G.3164	Roches associées aux charnockites	Leptynites à grenat	73

C.- INTERPRETATION

I.- SOAVINANDRIANA-BETAFO.- Certes, le nombre des analyses est assez faible. Cependant, avec les résultats que l'on a, on peut constater que : Pour les charnockites, P varie de 9 à 15, c'est-à-dire pratiquement orthose monoclinique ou feldspath potassique de faible triclinisme, alors que dans les migmatites à biotite et amphibole : P varie de 44 à 82, c'est-à-dire que l'on a affaire à des feldspaths de fort triclinisme (un échantillon de migmatite a donné P = 18). Sur la planche n°58 de la page 229, nous donnons la répartition des échantillons étudiés.

Ces résultats nous montrent que les charnockites de Soavinandriana-Betafo tranchent nettement sur leurs enveloppes migmatitiques. La symétrie des feldspaths potassiques de ces dernières diffère beaucoup de celle des charnockites. Ceci indique que ces charnockites de Soavinandriana-Betafo se sont formées probablement dans des conditions de température et de pression différentes de celles de leurs enveloppes. Il semble, d'après les travaux de G. GUITARD, E.RAGUIN et G.SABATIER (1960) qui ont suivi ceux de BOWEN et TUTTLE (1958) et de R.GOLDSCHMIDT et F.LAVES (1954), que dans la catazone l'orthose est la forme stable du feldspath potassique. Dans les zones supérieures, on rencontre à la fois l'orthose et les microclines de triclinisme varié. Dans ces niveaux, les feldspaths potassiques sont à l'état métastable et leur nature "dépendra alors essentiellement des facteurs susceptibles d'agir sur la cinétique de transformation orthose→microcline". Parmi ces facteurs, la température et la pression d'eau jouent un rôle important. Une température élevée ou une faible pression d'eau favorise la formation de l'orthose monoclinique.

Dès lors, à la lumière de ces données, les résultats des analyses de symétrie des feldspaths potassiques peuvent s'expliquer aisément de la manière suivante :



REPARTITION ECHANTILLONS ETUDIES POUR FELDSPATH POTASSIQUE

- Dans la série des migmatites à hornblende (mésozone) se sont produites des intrusions basiques (gabbros à olivine qui se présentent maintenant en enclaves résiduelles au sein des charnockites). Ces gabbros ont subi le métamorphisme régional du faciès amphibolite, ce qui transforme le pyroxène en hornblende. Cette transformation nécessitera de l'eau, le pyroxène étant anhydre. Vu l'importance du massif, il y a baisse très sensible de la pression d'eau, ce qui favorise la formation de l'orthose de faible triclinisme à l'état stable.

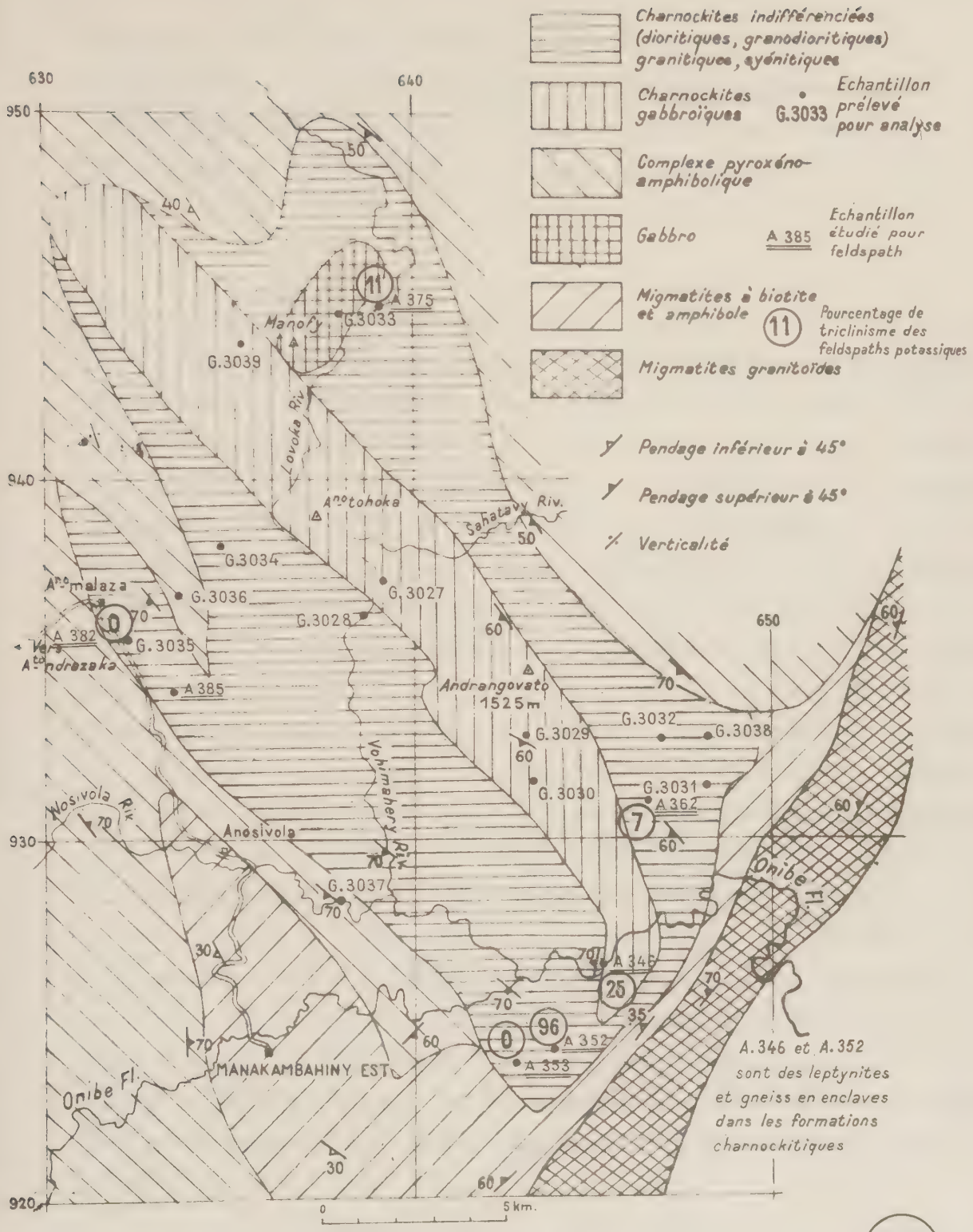
La symétrie cristalline des feldspaths potassiques des charnockites de Soavinandriana-Betafo est donc conforme aux données que nous avons acquises lors de l'étude pétrologique.

II.- MANAKAMBAHINY-EST.- Les charnockites ont ici une texture cristallophyllienne et sont associées avec des pyroxéno-amphibolites.

Dans ce cas-ci, les feldspaths potassiques des charnockites ont un pourcentage de triclinisme variant de 0 à 11, c'est-à-dire que ces charnockites sont comparables à celles de Soavinandriana-Betafo. Ici également, le feldspath potassique des migmatites de l'enveloppe est du microcline se rapprochant du microcline maximum (pourcentage de triclinisme variant de 25 à 96).

Autrement dit, de même qu'à Soavinandriana-Betafo, les charnockites présentent des feldspaths potassiques qui sont de l'orthose monoclinique, alors que les faciès enveloppants sont du faciès amphibolite.

Ce phénomène s'explique si l'on admet l'origine de ce massif par la charnockitisation d'un massif de gabbro intrusif



CHARNOCKITES MANAKAMBAHINY-EST (59)

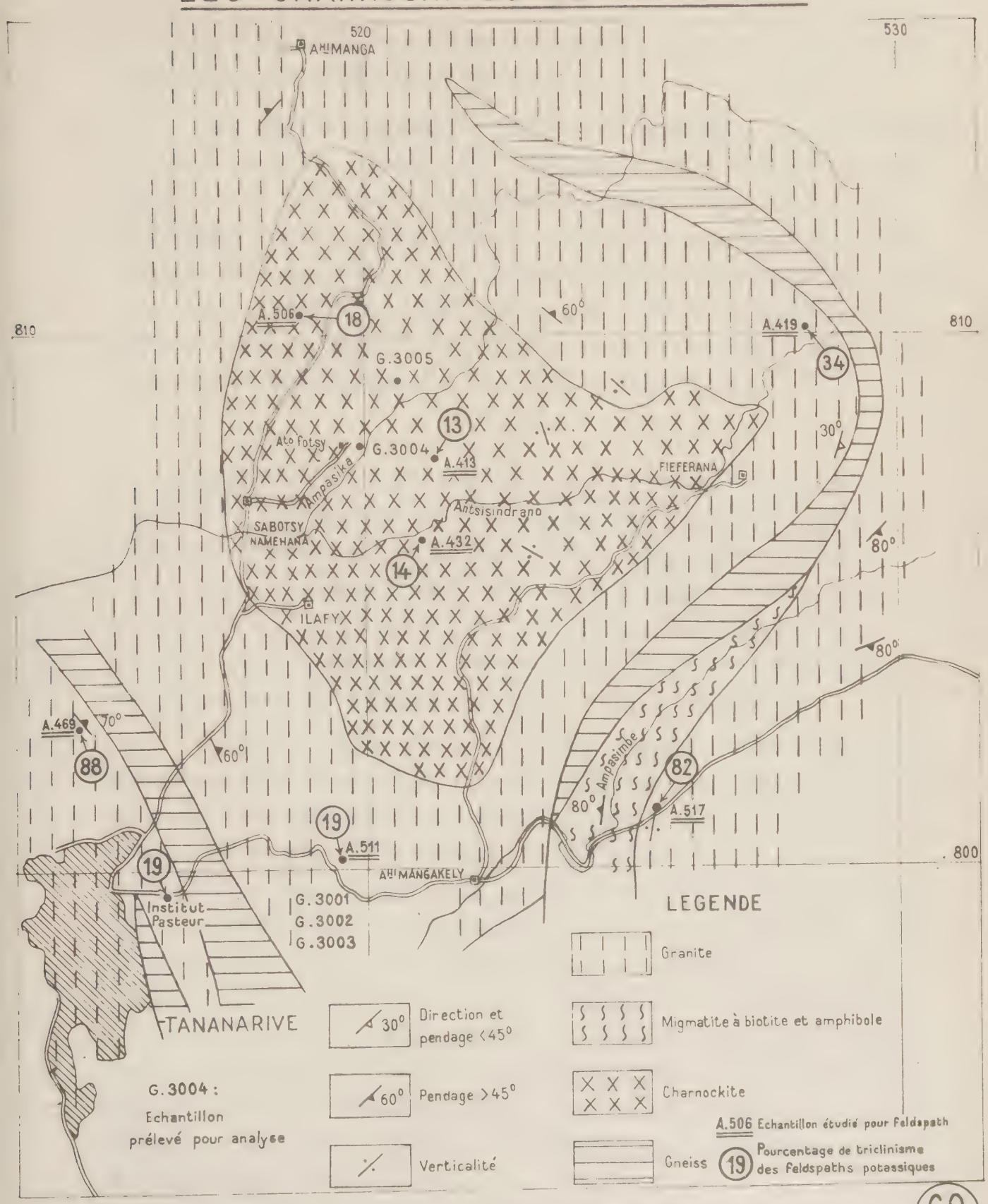
REPARTITION ECHANTILLONS ETUDIES POUR FELDSPATH POTASSIQUE

dans une série sédimentaire et métamorphisé dans le faciès amphibolite. Le même processus que pour Soavinandriana-Betafo se serait également produit ici, à savoir la formation d'orthose monoclinique à la suite d'une baisse sensible de la pression d'eau.

III.- TANANARIVE.- Les charnockites semblent ici très homogènes. Leurs feldspaths potassiques paraissent également homogènes sans que l'on puisse cependant être affirmatif, le nombre des analyses étant nettement très insuffisant. Ces feldspaths présentent une symétrie qui les classe dans la catégorie des microclines intermédiaires. Leur triclinicité est relativement peu élevée. Les pourcentages de triclinisme varient de 13 à 19 et paraissent pour les résultats dont on dispose, être supérieurs à ceux du Massif de Betafo-Soavinandriana. D'autre part, si l'on regarde le massif d'Ilafy, au Nord de Tananarive, la triclinicité semble augmenter du coeur du massif vers la périphérie, le pourcentage de triclinisme variant de 13 au centre à 18 vers la bordure du massif et 19 dans les petits bancs de charnockites interstratifiés dans les granites migmatitiques enveloppant le massif (carrière Ambohimahitsy sur la route de Tamatave, carrière de l'Institut Pasteur à Tananarive). Les migmatites de l'enveloppe sont des microclines à moirage caractéristique. Leur symétrie va de celle du microcline intermédiaire au microcline maximum. Le pourcentage de triclinisme est généralement élevé (34 à 88 %). Ces données, ainsi que la paragenèse des migmatites, indiquent que nous sommes ici dans le domaine du faciès amphibolite (mésozone).

Les résultats indiqués précédemment sur les charnockites d'Ilafy montrent que les feldspaths potassiques varient du type

LES CHARNOCKITES DE TANANARIVE



REPARTITION ECHANTILLONS ETUDIES POUR FELDSPATH POTASSIQUE

à faible triclinisme, orthose ou type se rapprochant de l'orthose, au microcline intermédiaire.

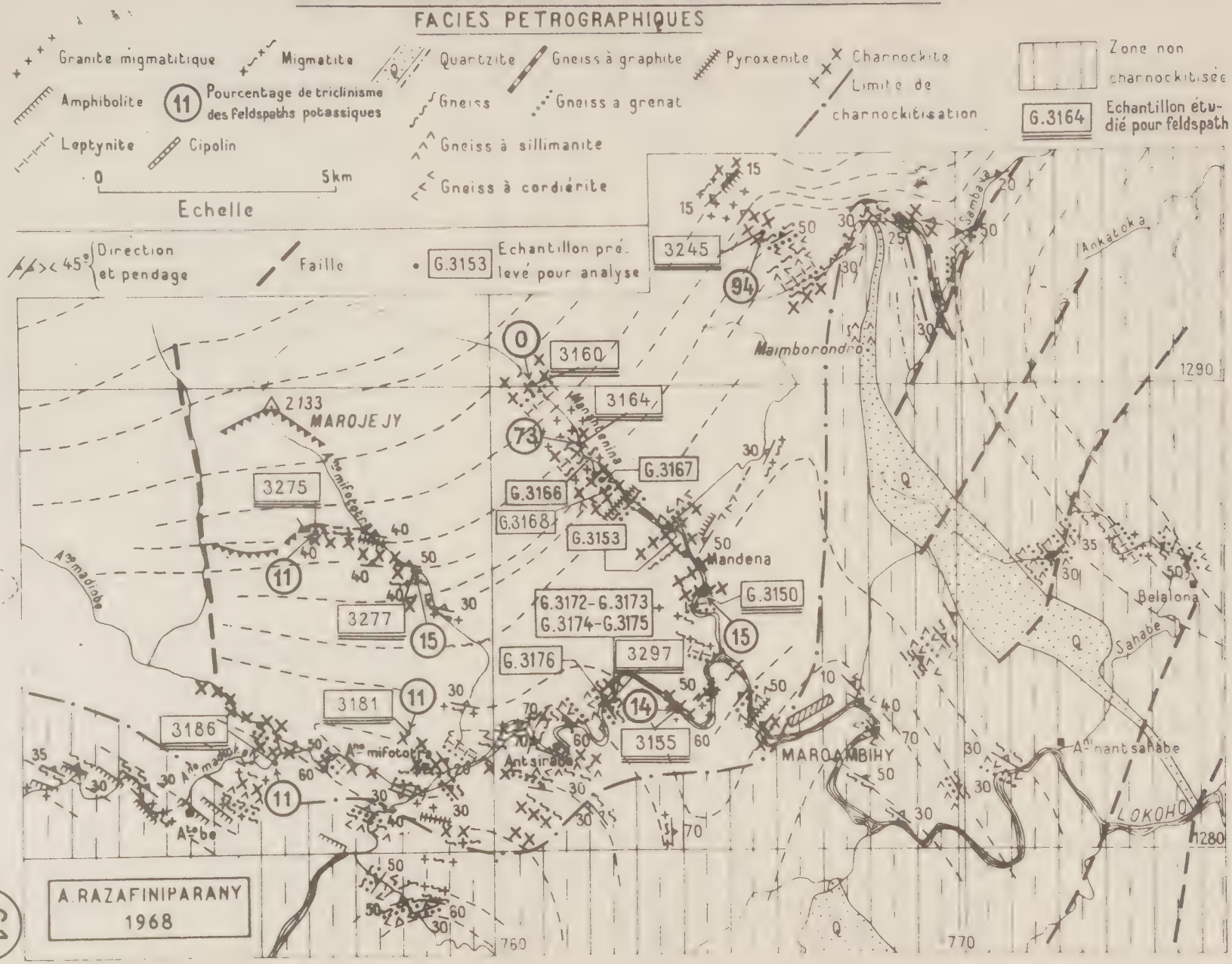
On peut expliquer ce fait en considérant les charnockites de Tananarive comme étant résiduelles. On peut, en effet, penser qu'il existait un ensemble charnockitique dont les feldspaths potassiques seraient à symétrie monoclinique. Ces charnockites auraient été reprises dans la migmatisation générale qui a affecté la région dans une zone de métamorphisme moins élevée, ce qui a fait évoluer ces feldspaths potassiques de la forme monoclinique à la forme triclinique.

IV.- MAROJEJY.- Les charnockites ici se présentent dans un contexte cristallophyllien comprenant des gneiss, leptynites, pyroxénites et quartzites. Du fait que les roches ici sont généralement porphyroïdes, c'est-à-dire riches en gros cristaux de feldspaths potassiques, il nous a été plus facile d'en extraire les feldspaths. Ceci explique le nombre relativement plus important de mesures que nous avons pu effectuer.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que dans les Massifs de Marojejy, le triclinisme des feldspaths potassiques des charnockites est très variable. P varie de 0 à 94, c'est-à-dire que les feldspaths potassiques de tous genres, de l'orthose monoclinique au microcline maximum, sont représentés. Les microclines intermédiaires, cependant, semblent, tout au moins pour les mesures que nous avons effectuées, de valeurs peu élevées, de 11 à 15. Il est à remarquer que l'échantillon qui avait donné la valeur de 94 % de triclinisme, est une charnockite syénitique à grenat. Néanmoins, une charnockite granitique à grenat a donné une valeur de P égale à 11 et un échantillon de leptynite à grenat associée aux charnockites a donné une valeur de P égale à 73.

LES CHARNOCKITES DE MAROJEJY

FACIES PETROGRAPHIQUES



REPARTITION ECHANTILLONS ETUDIES POUR FELDSPATH POTASSIQUE

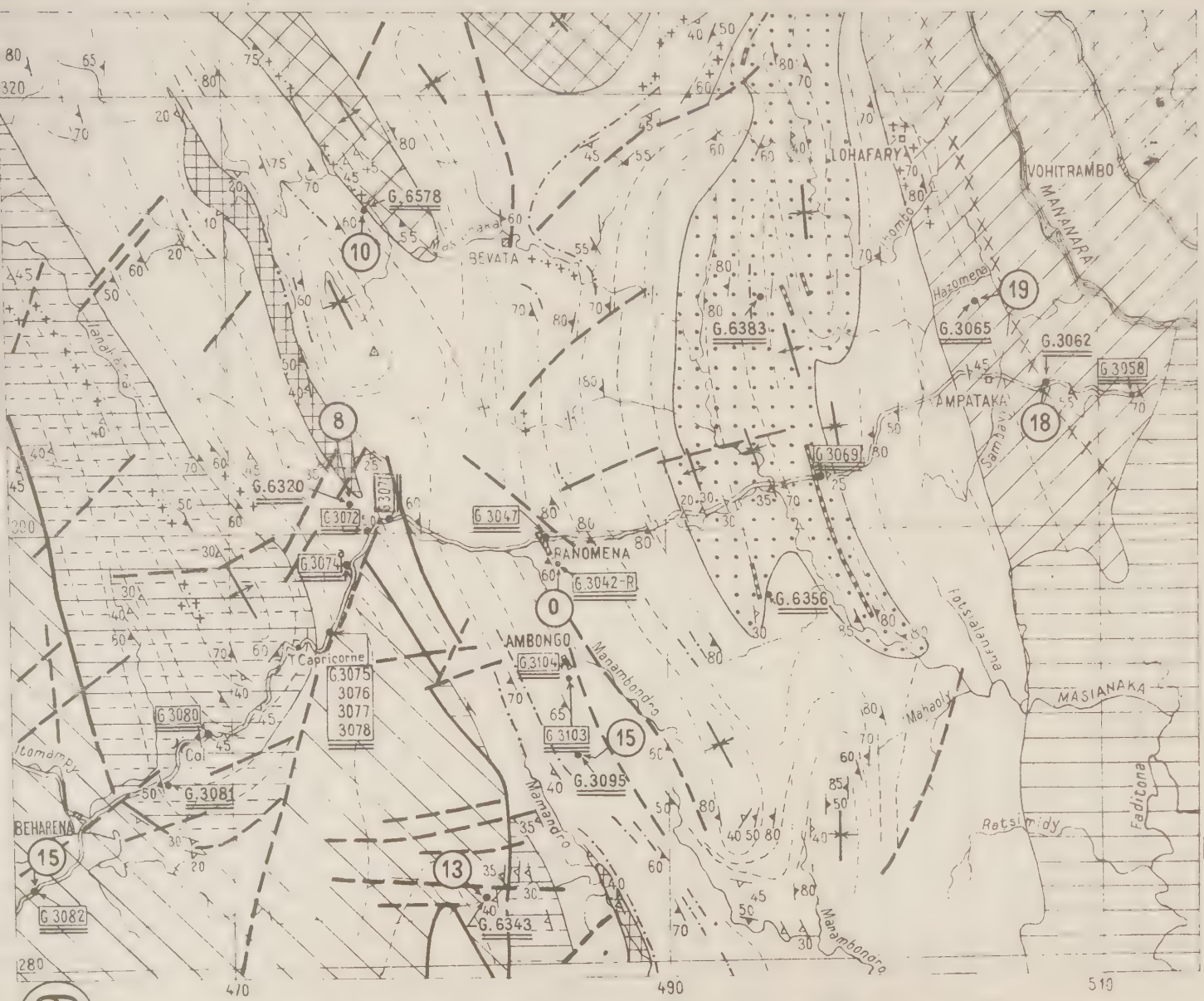
Ces caractères semblent indiquer que les charnockites se sont formées dans une zone qui se situe à la limite catazone-mésozone. Ce résultat est conforme à celui de l'étude pétrologique.

V.- RANOMENA.- Ici les charnockites se présentent en deux gisements différents. Dans la région de Ranomena, elles font partie d'un complexe cristallophyllien, comprenant des gneiss, des pyroxénites et des quartzites. A l'Est, tout au long de la côte Est, vers Vangaindrano, les charnockites se présentent en lames stratoïdes dans les migmatites.

Dans le premier cas, les feldspaths potassiques sont monocliniques ou à faible triclinicité (P variant de 0 à 15). Ces résultats indiquent l'appartenance de ce complexe au faciès granulite. Deux mesures effectuées sur des leptynites à grenat de Midongy du Sud appartenant au groupe de Fort-Dauphin ont donné des valeurs comparables (15 et 13). La charnockitisation ici est contemporaine du métamorphisme général ayant affecté la région.

Dans le deuxième cas, bien que ne disposant que de deux mesures, nous avons des feldspaths potassiques à triclinisme plus élevé que précédemment (18 et 19). Il y a lieu de penser ici à un cas comparable à celui de la région de Tananarive. Autrement dit, une charnockitisation effectuée dans la catazone, mais les charnockites ont été reprises par la migmatisation, dans une zone de métamorphisme moins profonde.

LES CHARNOCKITES DE LA REGION DE RANOMENA



LEGENDE

- Coulées basaltiques
- Migmatites avec bancs de charnockite
- Syénite à pyroxène
- Complexe de Ranomena { Charnockite-Pyroxénite gneiss quartzite
- Migmatite (Série de Tolongoina)
- Couches à graphite et charnockite
- Leptynite et gneiss à sillimanite et grenat. Gneiss à pyroxène et wernérite
- Charnockite Pyroxénite Gneiss à pyroxène et sphène

FACIES PETROGRAPHIQUES SPECIAUX

- + Granite
- X Charnockite
- Quartzite
- G.6381 Echantillon étudié pour feldspath
- Banc de graphite
- (8) Pourcentage de triclinisme des feldspaths potassiques
- Pendage >< 45°
- Verticalité
- Synclinal
- Anticlinal
- Faille
- G 3072 Echantillon prélevé pour analyse

0 5 10km

A. RAZAFINIPARANY
1969

62 REPARTITION ECHANTILLONS ETUDIES POUR FELDSPATH POTASSIQUE

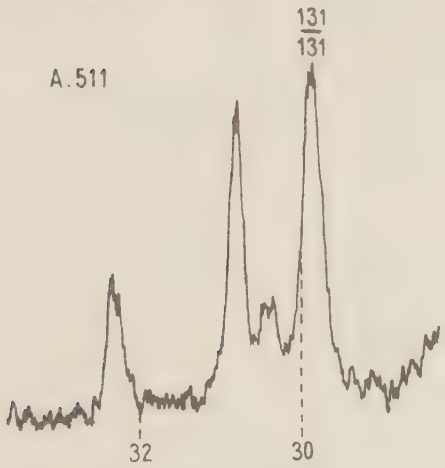
D.- CONCLUSION

Il résulte de l'analyse des feldspaths alcalins de ces cinq massifs charnockitiques, que la symétrie de ces feldspaths est, d'une façon générale, monoclinique ou bien de faible triclinisme. Ceci implique une cristallisation dans la catazone. Or c'est seulement dans le cas de Ranomena que cette condition est remplie. Dans le cas de Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est et Tananarive, la présence de l'orthose monoclinique ne peut s'expliquer que par une baisse sensible de la pression d'eau au moment de la cristallisation des feldspaths potassiques, ces massifs étant localisés au sein de formations caractéristiques de la mésozone. Ces types de charnockites ont leur origine dans la granitisation de gabbro de grandes dimensions préalablement métamorphisé sous les conditions thermodynamiques du faciès amphibolite.

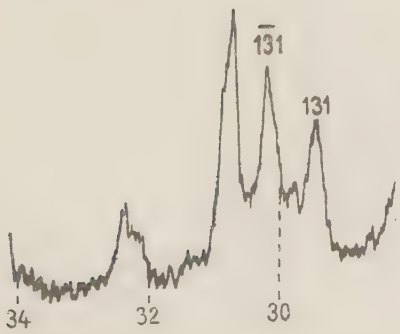
Enfin dans le cas du Massif de Marojejy, le triclinisme des feldspaths potassiques est très variable. On a des types allant de l'orthose monoclinique au microcline maximum. La cristallisation s'est effectuée dans la mésozone, où s'est produit le métamorphisme régional. Il en résulte que la charnockitisation ne peut s'expliquer ici que par la granitisation de roche gabbroïdique à composition noritique.

TYPES DE DIFFRACTOGRAMMES (Kα Cu) DE FELDSPATH POTASSIQUE
RENCONTRES DANS LES CHARNOCKITES ETUDIEES

Orthose
monoclinique



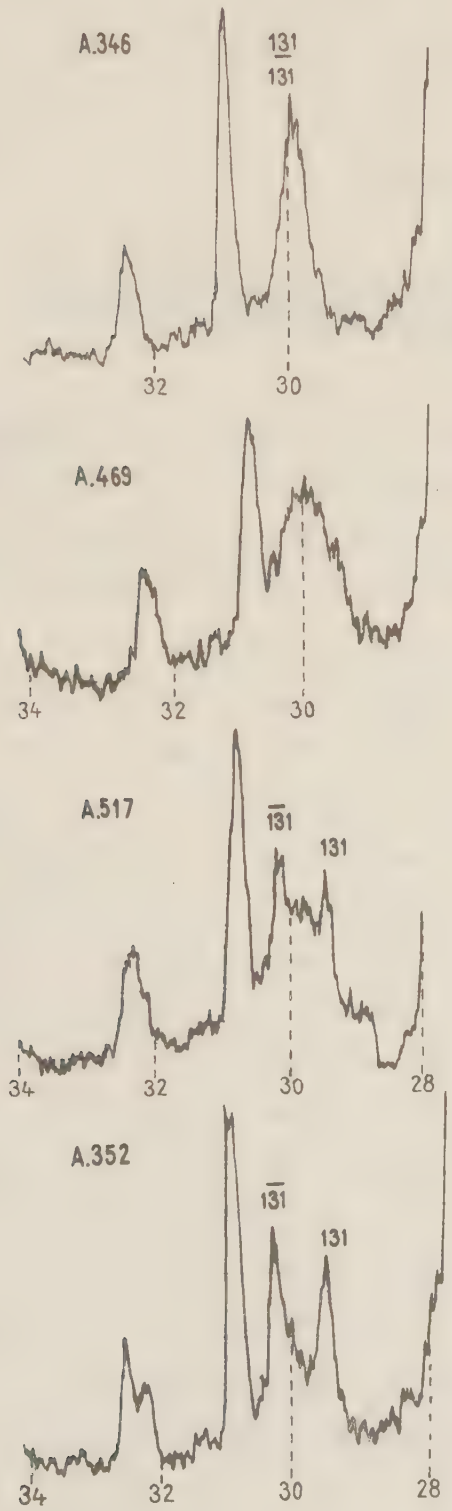
Microcline
intermédiaire
de faible triclinisme



Microcline maximum

63

TYPES DE DIFFRACTOGRAMMES (Kα Cu) DE FELDSPATH POTASSIQUE RENCONTRES DANS LES ROCHES MIGMATITIQUES DE FACIES AMPHIBOLITE ENVELOPPANT LES MASSIFS CHARNOCKITIQUES



Microcline intermédiaire

Microcline intermédiaire

Microcline proche du Microcline maximum

Microcline maximum

64

3e partie

LES ELEMENTS EN TRACE DANS LES CHARNOCKITES

RESUME.- Les teneurs en éléments en trace dans les charnockites de Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est, Tananarive, Marojejy et Ranomena ont été déterminées par la méthode spectrographique semi-quantitative.

Les résultats obtenus montrent que les charnockites sont caractérisées par une teneur assez élevée en Ba jusque dans les charnockites gabbroïques alors que les gabbros associés en sont dépourvus. Ces résultats sont comparables à ceux donnés par d'autres auteurs sur des charnockites des chaînes anosyennes dans le Sud de Madagascar et de Madras dans la péninsule indienne. La différence notable qui a pu être constatée réside dans le fait que les charnockites de nos cinq massifs sont dépourvues d'Yttrium alors que celles de Madras en contiennent un peu et que celles des chaînes anosyennes en sont très riches. Par contre les charnockites des 5 massifs étudiés présentent des teneurs plus élevées en Pb.

La comparaison des moyennes par élément pour tout l'ensemble des charnockites d'un massif et des

roches gabbroïques ou pyroxénitiques associées, avec chacune des moyennes relatives à chaque groupe pétrographique de ce massif (charnockites gabbroïques, dioritiques, granitiques, syénitiques, gabbros associés) semble indiquer :

1º) que l'on peut considérer la série charnockitique de Ranomena comme dérivant d'une différenciation d'une charnockite de composition granodioritique;

2º) que la série charnockitique de Manakambahiny-Est dérive de la granitisation d'une roche à composition gabbro-dioritique.

Ces résultats renforcent ceux déjà obtenus lors des études pétrologiques.

o

o o

ETUDE DES ELEMENTS EN TRACE DANS LES CHARNOCKITES

I.- METHODE ANALYTIQUE.- Les déterminations des teneurs en éléments en trace ont été effectuées au Laboratoire de géochimie du Service Géologique à Tananarive par C.RATSIMBAZAFY selon la méthode spectrographique semi-quantitative.

L'appareillage utilisé est un spectrographe "Hilger et Watts" à optique en quartz.

Les teneurs en éléments ont été déterminées d'après la méthode SPD (Spectral Density Scale). Cette méthode est basée sur l'estimation du noircissement de la raie spectrale. Une fois une des raies de l'élément considéré localisée dans le spectre de l'échantillon analysé, on compare visuellement son noircissement à celui d'une série de raies correspondant à des teneurs connues de l'élément analysé. Cette série étalonnée constitue l'échelle SPD. Les échantillons analysés ainsi que les étalons correspondant à l'échelle SPD ont été exposés dans les mêmes conditions. Les comparaisons optiques se font après projection du spectre analytique par le Projecteur L 89, "Hilger et Watts".

II.- REMARQUES GENERALES.- 103 échantillons de charnockites et de roches associées, répartis sur les cinq premières régions charnockitiques (Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est, Tananarive, Marojejy et Ranomena) ont été analysés. Pour chaque échantillon, 31 éléments ont été déterminés (Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, La, Li, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Sb, Sn, Ta, V, Zn, Pt, Hf, Th, U, W, Y). Il a été constaté l'absence généralisée des éléments suivants : Nb, Pt, Hf, Th, U, W et Y. Les éléments suivants : Ag, Au, Bi, Cd, Cr, Ge, La, Li, Mo,

Ta existent, mais leurs teneurs sont inférieures à la limite de sensibilité de la méthode utilisée, et n'ont pas donc pu être déterminées. En définitive, seuls les 14 éléments suivants ont donné des résultats : As, B, Ba, Be, Co, Cu, Ga, Ni, P, Pb, Sb, Sn, V et Zn. Nous donnons sur la planche nº74 de la page 254, un tableau montrant les teneurs minimales pouvant être déterminées pour ces éléments.

Nous donnons à la suite :

1) Les planches montrant la répartition des échantillons analysés (Planches nºs 65 à 69, pages 245 à 249).

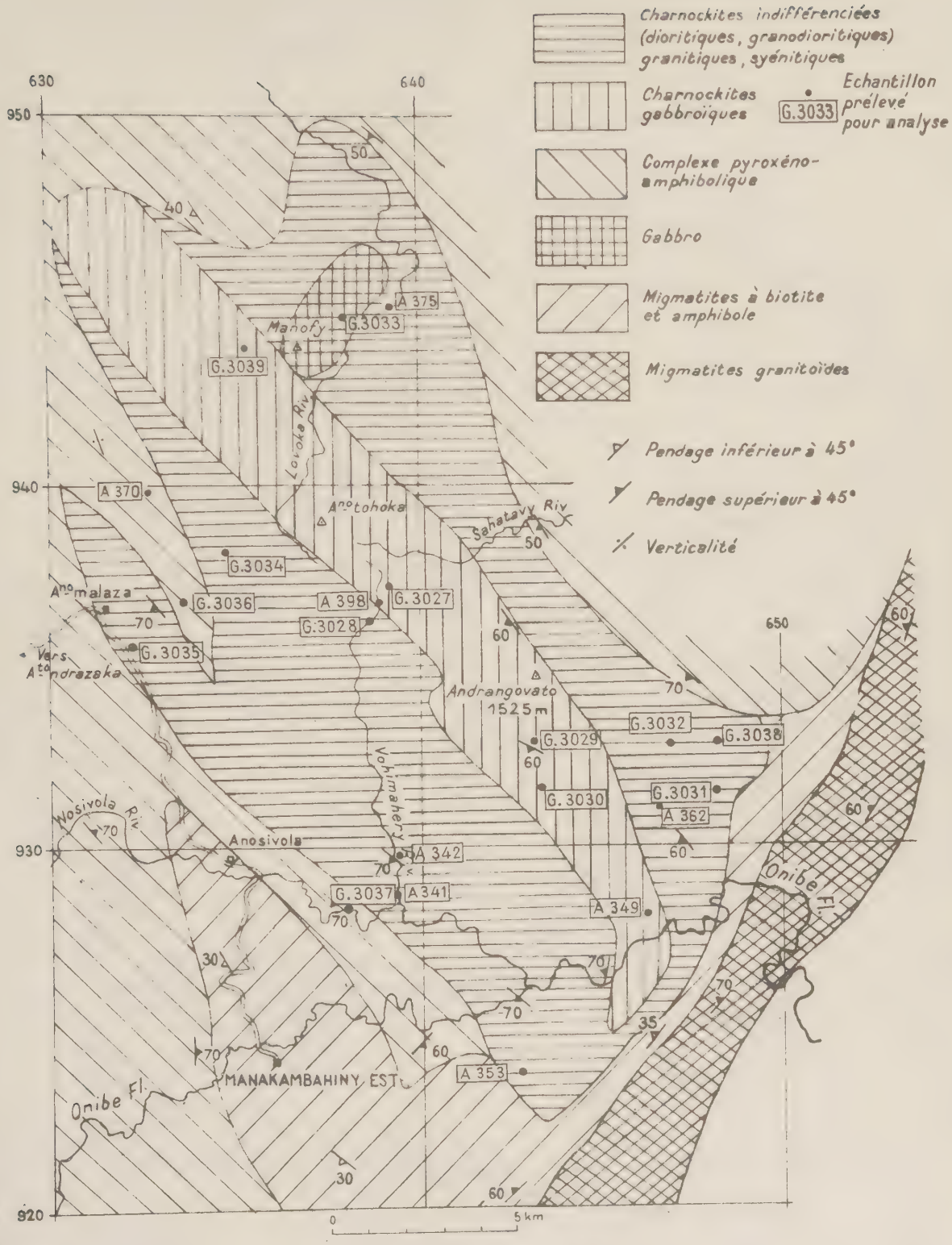
2) Les tableaux des valeurs en ppm des teneurs des éléments en trace données par les analyses spectrographiques (Planches nºs 70 à 74, pages 250 à 254).

III.- PRECISION DES RESULTATS.- La précision des résultats analytiques est très variable. Les valeurs très proches de la limite de sensibilité sont peu précises. C'est le cas de : As, Be, Sb. Par contre B, Co, Ni, Pb et Ga présentent une bonne précision. Tenant compte de ces données, nous avons résumé pour l'interprétation, les résultats essentiels (pour B, Ba, Co, Cu, Ga, Ni, Pb, V) sous forme d'un tableau des moyennes des teneurs en éléments en trace dans les charnockites gabbroïques, dioritiques, granitiques, syénitiques et les roches gabbroïques ou pyroxénitiques associées, groupées par massif (cf. Pl. nº75, page 256).

IV.- COMPARAISON AVEC LES RESULTATS D'AUTRES ANALYSES SPECTROGRAPHIQUES DE CHARNOCKITE.- Nous donnons ci-dessous à titre de comparaison, les résultats d'analyses spectrographiques effec-

65

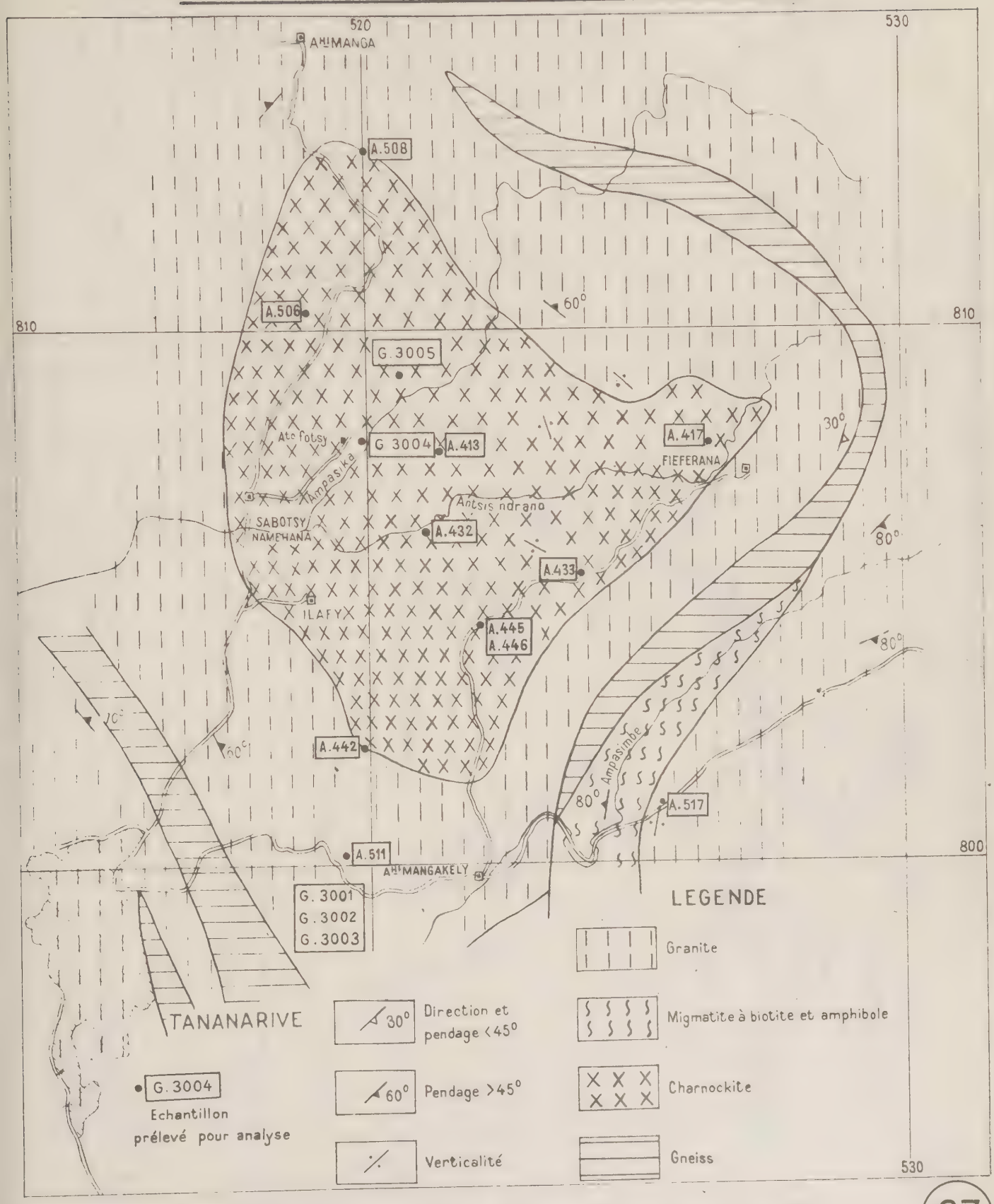
REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR OLIGO-ELEMENTS



CHARNOCKITES MANAKAMBAHINY-EST (66)

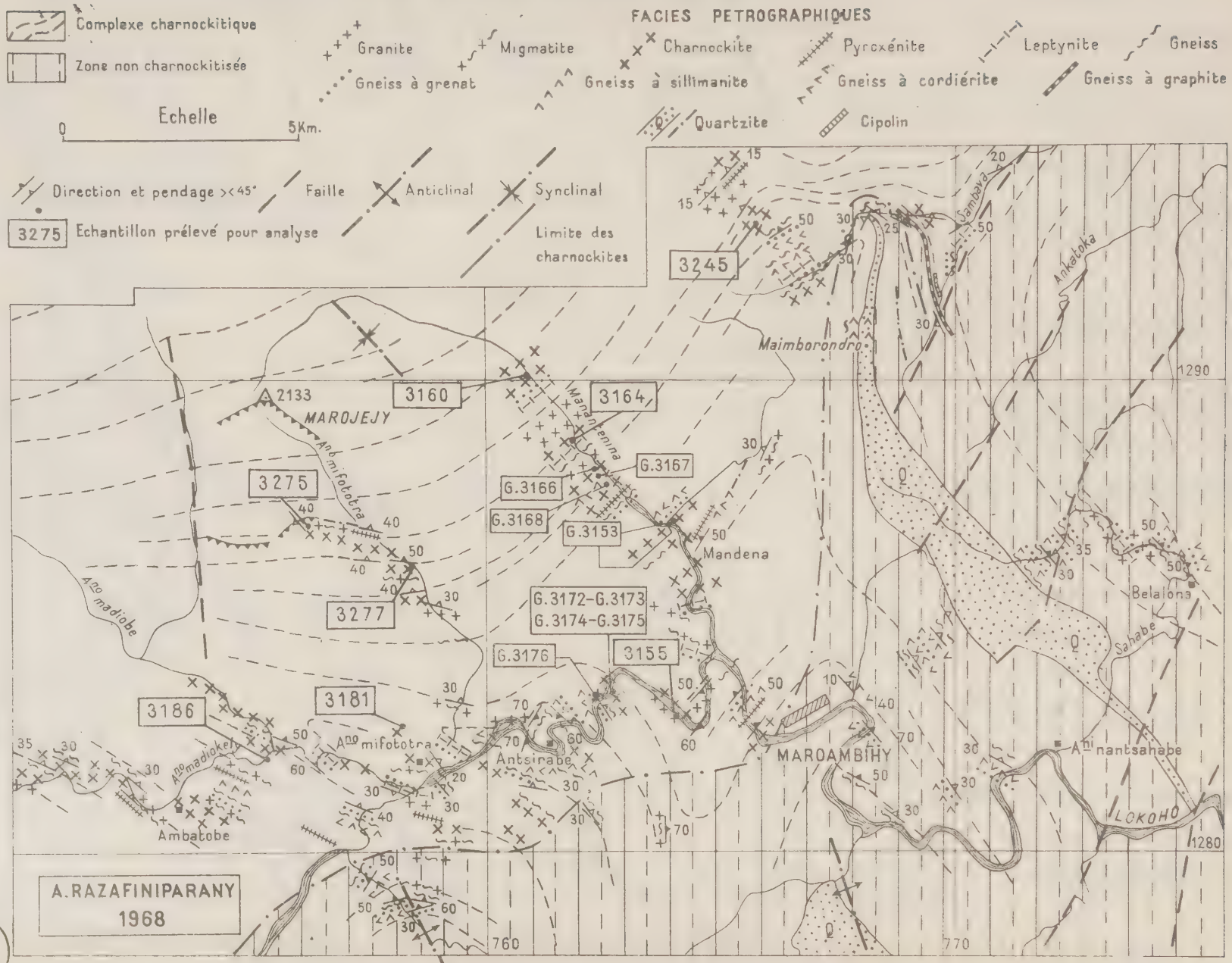
REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR OLIGO-ELEMENTS

LES CHARNOCKITES DE TANANARIVE



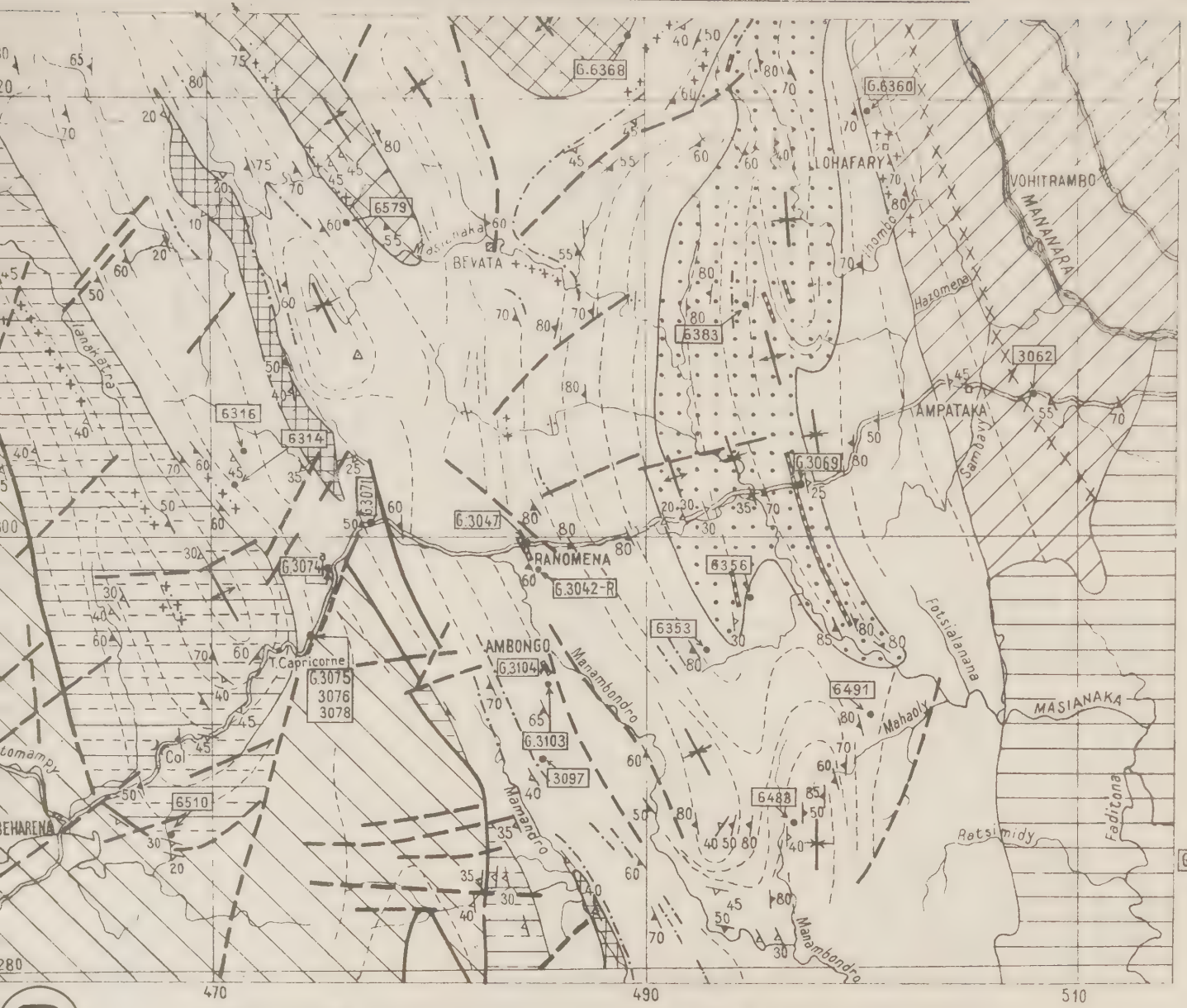
REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR OLIGO-ELEMENTS

LES CHARNOCKITES DE MAROJEJY



REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR OLIGO-ELEMENTS

LES CHARNOCKITES DE LA REGION DE RANOMENA



LEGENDE

- Coulées basaltiques
- Migmatites avec bancs de charnockite
- Syénite à pyroxène
- Complexe de Ranomena { Charnockite-Pyroxénite gneiss quartzite
- Migmatites (Série de Tolongoina)
- Couches à graphite et charnockite
- Leptynite et gneiss à sillimanite et grenat. Gneiss à pyroxène et wernérite
- Charnockite-Pyroxénite Gneiss à pyroxène et sphène

FACIES PETROGRAPHIQUES SPECIAUX

- + Granite
- X Charnockite
- Quartzite
- Banc de graphite
- Pendage >< 45°
- Verticalité
- Synclinal
- Anticlinal
- Faille
- G.3072 Echantillon prélevé pour analyse

0 5 10Km

A. RAZAFINIPARANY
1969

REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR OLIGO-ELEMENTS

69

TABLEAUX DES VALEURS EN PPM DES ELEMENTS EN TRACES DONNEES PAR LES ANALYSES SPECTROGRAPHIQUES

I.- SOAVINANDRIANA-BETAFO

A.- Massif charnockitique

Eléments dosés	Charnockites gabbroïques												Moyenne
	A. 99	A. 107	A. 207	A. 235	A. 244	A. 290	A. 306	G. 3011	G. 3012	G. 3013	G. 3015	G. 3025	
As	200	200	200	200	250	200	-	200	200	-	200	250	175
B	1 (*)	1	0,5	1	2	1	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	0,9
Ba	-	-	-	100	210	-	46	-	46	-	-	-	33,5
Be	2	2	2	2	2	2	2	3,5	3,5	3,5	-	2	2,2
Co	15	5	25	5	10	25	5	25	15	120	10	-	21,7
Cu	100	20	210	20	45	45	45	45	100	210	45	100	82,1
Ga	0,7	2	8	8	8	2	2	2	8	8	8	2	4,9
Ni	10	-	35	-	10	10	5	5	5	250	5	5	28,3
P	-	460	460	460	460	-	460	460	1000	-	460	460	390
Pb	5	10	70	5	70	35	70	35	130	70	70	250	68,3
Sb	120	120	120	120	120	-	120	210	210	120	120	-	115
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	10	1
V	100	215	215	100	215	21	100	460	460	215	215	21	194,7
Zn	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,3

Eléments dosés	Charnockites granodioritiques													Moyenne
	A. 12	A. 50	A. 140	A. 143	A. 162	A. 243	A. 273	A. 289	A. 293	A. 321	G. 3016	G. 3017	G. 3018	
As	200	-	200	200	200	200	200	200	-	200	200	200	-	153,8
B	5	0,5	2	5	2	2	1	1	1	1	0,5	1	2	1,8
Ba	-	100	46	46	4600	1000	210	460	1000	210	-	210	210	622,4
Be	2	2	2	2	2	-	2	-	2	-	2	2	-	1,4
Co	5	-	5	-	10	-	5	5	5	5	5	5	-	3,8
Cu	10	2	10	5	210	20	45	100	45	45	45	45	10	45,5
Ga	0,7	2	8	8	8	8	2	8	8	8	8	8	2	6,0
Ni	10	-	5	-	10	-	5	5	-	-	5	10	-	3,8
P	460	460	-	-	1000	460	460	460	2100	2100	-	-	-	576,9
Pb	10	18	18	35	70	70	70	35	5	35	35	70	130	46,2
Sb	120	-	120	-	120	-	120	-	-	-	-	-	-	36,9
Sn	-	-	2	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	0,5
V	100	21	100	21	215	4,6	100	46	100	46	100	215	2	82,3
Zn	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,7

Eléments dosés	Charnockites syénitiques				Moyenne
	A. 84	A. 199	G. 3019	G. 3020	
As	-	200	-	200	100
B	1	2	1	1	1,2
Ba	46	460	210	1000	429
Be	-	-	-	-	-
Co	-	-	-	-	-
Cu	5	10	10	10	8,7
Ga	2	8	2	2	3,5
Ni	-	-	-	5	1,2
P	-	460	-	460	230
Pb	10	70	250	130	115
Sb	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	2	0,5
V	-	2	4,6	4,6	2,8
Zn	-	100	-	-	25

Eléments dosés	Gabbros associés aux charnockites					Moyenne
	A. 79	A. 161	A. 310	A. 315	G. 3014	
As	200	200	200	200	200	200
B	1	5	1	1	0,5	1,7
Ba	-	-	-	-	-	-
Be	3,5	10	-	2	2	3,5
Co	15	120	80	80	120	83
Cu	210	210	45	100	210	155
Ga	8	8	0,7	0,7	0,2	3,5
Ni	35	120	250	70	830	261
P	4600	-	-	-	-	920
Pb	18	-	70	18	10	23,2
Sb	-	600	-	120	-	144
Sn	2	2	-	-	10	2,8
V	460	2100	46	100	10	543,2
Zn	-	100	-	-	-	20

B.- Enveloppe

Eléments dosés	Migmatites à biotite et hornblende					Moyenne
	A. 78	A. 156	A. 177	G. 3024	G. 3026	
As	200	-	200	-	200	120
B	1	5	2	5	1	2,8
Ba	460	2100	100	46	46	550,4
Be	2	2	3,5	-	-	1,5
Co	5	-	10	-	15	6,0
Cu	100	100	210	100	20	106
Ga	30	8	30	2	2	14,4
Ni	5	-	10	-	17	6,4
P	2100	460	1000	-	1000	912
Pb	35	130	70	130	70	87
Sb	-	-	120	-	-	24
Sn	-	-	-	2	10	2,4
V	100	21	460	10	46	127,4
Zn	-	-	-	-	-	-

(*) , - : inférieur à la sensibilité de la méthode analytique utilisée.

TABLEAU DES VALEURS EN PPM DES ELEMENTS EN TRACES DONNEES PAR LES ANALYSES SPECTROGRAPHIQUES

II.- MANAKAMBAHINY-EST

	A.- Massif charnockitique																				B.- Enveloppe			
Eléments dosés	Pyroxénite à hypersthène	Charnockites gabbroïques				Moyenne	Charnockites dioritiques						Moyenne	Charnockites granodioritiques		Moyenne	Charnockites syénitiques		Moyenne	Gabbro associé aux charnockites	Pyroxéno-amphibolite associée aux charnockites	Pyroxéno-amphibolites et gneiss à amphibole			Moyenne
	A.353	A. 349	G. 3027	G. 3028	G. 3029		A. 341	A. 342	G. 3031	G. 3032	G. 3034	G. 3039		A. 362	G. 3038		G. 3035	A. 375		G.3033	G.3030	A. 370	G. 3036	G. 3037	
As	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	-	100	200	200	200	200	200	200
B	1	1	0,5	0,5	0,5	0,6	1	1	1	1	0,5	2	1,1	2	0,2	1,1	1	1	1	0,5	0,5	2	0,5	1	1,2
Ba	46	(*) -	-	46	-	11,5	1 %	-	46	100	46	-	1698,6	4600	46	2323	100	-	50	-	-	-	-	-	-
Be	3,5	2	2	2	2	2	3,5	2	-	2	2	-	1,6	2	-	1	2	-	1	3,5	3,5	6	2	-	2,7
Co		10	10	10	15	11,2	15	5	-	10	10	5	7,5	-	-	-	10	-	5	15	25	45	10	5	20
Cu	100	210	100	210	100	155	210	20	100	210	210	210	160	10	100	55	210	10	110	100	100	210	210	210	210
Ga	2	8	2	2	2	3,5	2	2	2	2	2	0,02	1,7	2	0,7	1,3	0,7	2	1,3	0,7	0,1	0,7	0,7	2	1,1
Ni	450	17	17	17	17	17	17	10	-	17	10	35	14,8	-	5	2,5	5	-	2,5	35	250	70	17	5	3,1
P	-	-	460	460	-	230	460	460	460	1000	460	-	473,3	460	460	460	1000	460	730	460	-	-	460	460	306,6
Pb	5	10	130	130	130	100	10	-	250	250	460	5	162,5	5	18	11,5	460	5	232,5	70	35	-	35	35	23,3
Sb	120	-	-	-	120	30	210	120	-	120	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-	40
Sn	-	-	2	-	2	1	-	-	2	-	46	2	8,3	-	-	-	20	-	10	10	10	2	2	2	2
V	100	215	100	100	215	157,5	215	46	2	100	46	2	68,5	4,6	10	7,3	215	4,6	109,8	100	215	460	215	100	258,3
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	83,3

(*) - : inférieur à la sensibilité de la méthode analytique utilisée.

71

TABLEAU DES VALEURS EN PPM DES ELEMENTS EN TRACES DONNEES PAR LES ANALYSES SPECTROGRAPHIQUES

III.- Région de TANANARIVE

Eléments dosés	Pyroxénite associée aux charnockites	Charnockite associée aux pyroxénites		Moyenne	Charnockites granodioritiques										Moyenne	Granite		Moyenne
	G.3002	G. 3003	A. 511		G. 3004	G. 3005	A. 417	A. 432	A. 433	A. 442	A. 445	A. 446	A. 506	A. 508		G. 3001	A. 517	
As	250	200	-	100	200	200	200	200	200	200	200	-	200	200	180	200	200	200
B	0,5	1	2	1,5	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1,3	2	2	2
Ba	- (*)	460	-	230	460	210	-	-	-	-	210	-	-	-	88	210	1000	605
Be	2	-	-	-	-	2	-	-	-	2	2	-	2	2	1	-	-	-
Co	15	5	-	2,5	-	-	5	5	-	10	-	-	-	10	3	-	-	-
Cu	210	10	10	10	20	20	10	20	1	2	20	10	5	100	20,8	10	30	20
Ga	8	8	0,7	4,3	2	8	2	8	2	8	8	2	2	2	4,4	2	19	10,5
Ni	17	-	-	-	-	-	5	-	-	5	-	-	-	5	1,5	5	-	2,5
P	460	460	460	460	-	-	460	460	-	460	460	-	460	460	276	460	730	595
Pb	1000	250	130	190	250	250	35	460	460	250	250	250	250	460	291,5	730	250	490
Sb	210	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-	-	-	-	12	-	-	-
Sn	20	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	-	-	2	1,2	5	2	3,5
V	460	10	4,6	7,3	21	46	10	21	10	215	4,6	4,6	21	46	39,9	7	10	8,5
Zn	140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(*) - : inférieur à la sensibilité de la méthode analytique utilisée.

TABLEAU DES VALEURS EN PPM DES ELEMENTS EN TRACES DONNEES PAR LES ANALYSES SPECTROGRAPHIQUES

IV.- **MAROJEJY**

Eléments dosés	Charnockites gabbroïques		Moyenne	Charnockites granodioritiques et granitiques								Moyenne	Charnockites syénitiques					Moyenne	Charnockites à cordiérite et sillimanite		Moyenne	Gneiss à cordiérite et sillimanite	Leptynite à grenat
	G. 3175	G. 3166		G. 3174	G. 3181	G. 3160	G. 3277	G. 3155	G. 3186	G. 3275	G. 3297		G. 3172	G. 3173	G. 3168	G. 3150	G. 3245		G. 3167	G. 3153		G.3176	G.3164
As	(•) -	200	100	200	-	-	200	200	-	-	200	100	200	200	-	-	-	80	200	200	200	200	-
B	0,5	1	0,7	1	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	0,7	1	1	1	0,5	1	0,9	1	1	1	1	1
Ba	-	-	-	210	1000	210	46	100	46	100	-	214	46	100	1000	210	46	280,4	-	100	50	-	46
Be	3,5	6	4,7	-	-	-	2	-	-	-	2	0,5	2	-	-	-	2	0,8	-	2	1	-	-
Co	-	45	22,5	5	5	-	-	-	-	-	45	6,9	25	5	-	-	-	6	-	-	-	5	-
Cu	210	210	210	210	5	5	5	2	20	5	5	32,1	20	45	2	5	20	18,4	5	45	25	210	5
Ga	2	2	2	8	2	2	2	2	20	8	0,2	5,5	8	2	2	8	0,7	4,1	2	8	5	2	2
Ni	17	35	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	1	-	-	-	17	-
P	-	460	230	460	460	460	-	-	1000	-	-	297,5	460	460	-	460	-	276	-	-	-	460	-
Pb	130	18	74	250	130	70	130	130	18	130	70	116	460	250	460	250	35	291	250	70	160	130	460
Sb	120	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	10	5	5	-	-	-	2	-	-	-	0,9	5	5	2	2	-	2,8	10	2	6	10	-
V	215	215	215	10	2	4,6	4,6	10	46	4,6	2	10,5	10	21	2	21	2	11,2	2	10	6	21	-
Zn	100	-	50	-	100	-	-	-	-	-	-	12,5	140	-	100	140	-	76	-	-	-	-	-

(•) - : inférieur à la sensibilité de la méthode analytique utilisée.

73

TABLEAUX DES VALEURS EN PPM DES ELEMENTS EN TRACES DONNEES PAR LES ANALYSES SPECTROGRAPHIQUES

V.- RANOMENA

Pyroxénite G.3047	Eléments dosés	Charnockites gabbroïques G. 6314	G. 3078	G. 3097	G. 3071	G. 6510	Moyenne	Charnockites dioritiques G. 6353	G. 3075	G. 6316	G. 6360	G. 3076	G. 6483	Moyenne	Charnockites granodioritiques et granitiques G. 6368	G. 6579	G. 6491	G. 3069	G. 3062	G. 6383	Moyenne	Charnockites syénitiques G. 3042	G. 3103	Moyenne
(*) -	As	-	200	200	200	200	160	200	-	-	-	-	200	66,7	200	-	-	200	-	-	66,7	-	200	100
1	B	1	0,5	0,5	0,5	1	0,7	1	1	1	0,2	1	0,5	0,9	1	0,5	1	1	0,5	1	0,8	0,5	1	0,7
-	Ba	-	-	-	-	-	-	46	-	46	460	-	-	92	210	460	210	1000	46	210	356	210	2100	1155
2	Be	6	2	3,5	3,5	2	3,4	-	-	-	-	2	3,5	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Co	-	10	-	15	10	7	5	-	-	-	10	15	5	5	-	-	-	25	-	5	-	-	-
210	Cu	45	210	200	45	100	120	100	45	2	5	1	100	42,2	5	20	10	10	20	2	11,2	20	20	20
2	Ga	2	2	2	0,7	2	1,7	2	0,7	2	2	0,7	0,7	1,3	2	0,7	0,7	2	2	0,7	1,3	2	0,7	1,3
10	Ni	35	10	10	10	5	14	-	-	-	-	5	17	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	P	-	-	-	-	460	92	460	-	460	-	-	460	230	460	-	-	460	460	-	230	-	1000	500
18	Pb	-	18	250	10	10	57,6	35	35	70	35	35	10	36,7	35	35	130	35	18	70	53,8	130	130	130
120	Sb	210	-	210	210	120	150	-	-	-	-	-	210	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	Sn	-	5	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1
460	V	1000	21	215	460	46	348,4	21	4,6	4,6	2	21	215	44,7	10	10	-	2	2	-	4	4,6	10	7,3
-	Zn	-	-	-	-	100	20	-	-	-	100	-	-	16,7	-	-	-	-	-	-	-	140	-	70

(*) - : inférieur à la sensibilité de la méthode analytique utilisée.

Limite inférieure de sensibilité de la méthode utilisée

Eléments déterminés	As	B	Ba	Be	Co	Cu	Ga	Ni	P	Pb	Sb	Sn	V	Zn
Teneur-limite détectée	200	0,2	46	2	5	0,2	0,02	5	460	5	120	2	2	100

tuées par d'autres auteurs sur des roches charnockitiques(1).

		Ag	B	Ba	Be	Co	Cu	Cr	Ga	Mn	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	Y	Yb	Zn
) Charn. acide D.6215		<1	7	2835	3	< 30	331	10	8	194	tr	<10	<30	tr	4215	1490	5	296
) D.X.		tr	7	1520	6	< 30	224	40	12	617	tr	19	<30	tr	742	> 1%	3	589
) Charn. basique D.6435		tr	344	1265	33	70	703	50	9	1760	tr	43	<30	52	402	> 1%	9	> 1%
Moyenne		tr	120	1873	14	43	420	33	10	857	tr	24	<30	17	1790	7165	6	3630
Analyses A.HOWIE (1955)	Ch.acides - Moyennes de 4 analyses			1850		25		6	15	163	tr	4	20		446	13		
	Ch.intermédiaires Moyennes de 7 analyses			1380		15		35	18	571	tr	35	15		850	17		
	Ch. basiques Moyennes de 2 analyses			63		65		150	28	1800	tr	68	7,5		188	20		
	Moyenne			1320		20		44	18	633	tr	30	15		624	17		
) Moyenne obtenue dans les analyses sur les 5 massifs étudiés				407		7	64		3			7	131					

(1) In H.MAJMUNDAR, 1961.- Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pyroxènes et des micas dans les pyroxénites à phlogopite et dans les charnockites du Sud-Est de Madagascar. (Thèse Nancy 1961).

(2) D.6215 : Charnockite des chaînes anosyennes. Feuille N.62 - Crêtes entre Amboalengo et Ivorona.

(3) D.X. : Echantillon moyen de charnockites des chaînes anosyennes.

(4) D.6435 : Charnockites des chaînes anosyennes. Feuille N.62 Mahatalaky - Route de Fort-Dauphin à Manantenina.

(5) Cf. Pl. n°75, page 256).

Tableau des moyennes des teneurs en éléments en trace
(valeurs en ppm)

		Roches gabbroïques ou pyroxénitiques associées	Charnockites gabbroïques	Charnockites dioritiques	Charnockites granitiques	Charnockites syénitiques	moyenne par massif	Moyenne générale charnock.
B	I*	1,7	0,9		1,8	1,2	1,3	1,0
	II	0,5	0,6	1,1	1,1	1	0,9	
	III	0,5			1,3		1,3	
	IV		0,7		0,7	0,9	0,8	
	V	1	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	
Ba	I	0	33,5		622,4	429	361,6	407,2
	II	0	11,5	1698,6	2323	50	1020,8	
	III	0			88		88	
	IV		0		214	280,4	164,8	
	V	0	0	92	356	1155	400,8	
Co	I	83	21,7		3,8	0	8,5	6,7
	II	15	11,2	7,5	0	5	5,9	
	III	15			3		3	
	IV		22,5		6,9	6	11,8	
	V	10	7	5	5	0	4,2	
Cu	I	155	82,1		45,5	8,7	45,4	64,3
	II	100	155	160	55	110	120	
	III	210			20,8		20,8	
	IV		210		32,1	18,4	86,8	
	V	210	120	42,2	11,2	20	48,3	
Ga	I	3,5	4,9		6,0	3,5	4,8	3,3
	II	0,7	3,5	1,7	1,3	1,3	1,9	
	III	8			4,4		4,4	
	IV		2		5,5	4,1	3,9	
	V	2	1,7	1,3	1,3	1,3	1,4	
Ni	I	261	28,3		3,8	1,2	11,1	7,0
	II	35	17	14,8	2,5	2,5	9,2	
	III	17			1,5		1,5	
	IV		26		0	1	9,0	
	V	10	14	3,7	0	0	4,4	
Pb	I	23,2	68,3		46,2	115	76,5	131
	II	70	100	162,5	11,5	232,5	76,5	
	III	1000			291,5		291,5	
	IV		74		116	291	140,8	
	V	18	57,6	35,7	53,9	130	69,5	
V	I	543,2	194,7		82,3	2,8	93,3	79,8
	II	100	157,5	68,5	7,3	109,8	85,8	
	III	460			39,9		39,9	
	IV		215		10,5	11,2	78,9	
	V	460	348,4	44,7	4	7,3	101,1	

* I = Massif de Soavinandriana-Betafo
II = Massif de Manakambahiny-Est
III = Tananarive
IV = Marojejy
V = Ranomena

On peut constater que, d'une façon générale, les charnockites sont caractérisées par une forte teneur en Ba, en particulier les charnockites basiques qui renferment une certaine quantité de Ba alors que les gabbros associés en sont dépourvus. Les teneurs en Ba des charnockites granitiques sont comparables à celles des granites et migmatites que l'on rencontre dans les enveloppes.

Les charnockites des chaînes anosyennes sont caractérisées par des teneurs exceptionnellement élevées en Yttrium. Celles-ci sont très basses dans les charnockites de Madras et leur présence n'a pas été décelée dans nos cinq massifs. Par contre, nos cinq massifs semblent présenter des teneurs nettement plus élevées en Pb.

V.- INTERPRETATION.- Le tableau des résultats de la planche nº75, page 256, montre que, d'une façon générale, les charnockites acides sont plus riches en Ba que les charnockites basiques, tandis que les roches basiques associées en sont complètement dépourvues.

Par contre, les éléments tels que Co, Cu, Ni et V sont plus abondants dans les charnockites basiques et les roches basiques associées que dans les charnockites acides. On peut alors se demander :

1º) Si les charnockites se sont formées à partir des roches gabbroïques ou pyroxénitiques avec évolution vers des roches de compositions granitiques et syénitiques. Dans ce cas, il y aurait au cours de la charnockitisation, apport de Ba et départ de Co, Cu, Ni et V.

2º) Ou, par contre, si la charnockitisation a pu s'effectuer sans métasomatose, par simple différenciation à partir d'une roche-mère en roches plus acides enrichies en Ba et en roches plus basiques enrichies en Co, Cu, Ni et V. Dans ce cas, la teneur de chaque élément dans la roche-mère serait égale à la moyenne des teneurs de l'ensemble des différents types pétrographiques de la série charnockitique.

Il serait donc très intéressant de comparer la moyenne générale de chaque élément considéré dans l'ensemble du massif avec la moyenne de chaque groupe pétrographique de ce massif et de voir si un groupe pétrographique aurait la même moyenne pour tous les éléments. Dans ce cas, il y aurait différenciation.

Dans ce sens, je donne ci-dessous deux tableaux comparatifs pour les Massifs de Ranomena et de Manakambahiny-Est. Seules les données relatives à ces deux massifs se prêtent bien à ce genre d'étude pour la simple raison que nous avons là la série charnockitique avec les différents types pétrographiques (gabbroïques, dioritiques, granitiques et syénitiques).

a) Massif de Ranomena

Eléments	B	Ba	Co	Cu	Ga	Ni	Pb	V
(1) Moyenne des charnockites dans le massif	0,8	400,8	4,2	48,3	1,4	4,4	69,5	101,1
(2) Moyenne des charnockites + pyroxénites associées	0,8	320,6	5,4	80,7	1,5	5,5	59,2	1
(3) Moyenne charnockites granitiques	0,8	356	5	11,2	1,3	0	53,8	4
(3) par rapport à (2)				départ -		départ -		départ -

b) Massif de Manakambahiny-Est

Eléments	B	Ba	Co	Cu	Ga	Ni	Pb	V
(1) Moyenne des charnockites dans le massif	0,9	1020,8	5,9	120	1,9	9,2	76,6	85,8
(2) Moyenne des charnockites + gabbro associé	0,9	816,6	7,7	116	1,7	14,4	75,3	88,6
(3) Moyenne charnockites dioritiques	1,1	1698,6	7,5	160	1,7	14,8	162	68,5
(3) par rapport à (2)	apport +	apport +					apport +	départ -

De ces tableaux, on peut déduire :

1º) On peut considérer dans le massif de Ranomena que la série charnockitique dériverait d'une roche à hypersthène de composition granodioritique par différenciation en divers éléments allant de types basiques à des types acides. On peut penser que cette différenciation se serait produite au cours d'une anatexie qui aurait mobilisé les différents éléments. Ces derniers se seraient groupés par affinité, les granitophiles (B, Ba, Pb) dans les types acides et les granitophobes (Co) dans les roches basiques. Cu, Ni, V seraient probablement très mobiles et auraient migré très loin(1).

(1) Eléments granitophiles et granitophobes (d'après de WIJS, 1960) :

Eléments granitophiles			Eléments granitophobes
K, Rb	Li, Na, Cs	Mg	Cr
Sr, Ba	Be, Ca	Sc	Re,
Hf, Th	B, Al, Y	Mo	Co, Rh, Ir
Nb, Ta	Si, Ti, Zr	Mn	Ni, Pd, Pt
U	V	Fe	Au
Pb	Ga, In, Ti	Cu-Ag	Ge
	Sn, As, Sb, Bi	Zn Cd	S, Se, Te
		F	

Nous voyons que ce résultat est conforme aux données pétrologiques.

2º Les roches dont les moyennes se rapprochent beaucoup de celles de l'ensemble charnockite + gabbro du massif de Manakambahiny-Est sont de composition dioritique. On peut considérer d'après ce résultat, que la série charnockitique de Manakambahiny-Est dériverait d'une roche basique à composition gabbro-dioritique avec apport de B , Ba , Nb. Ce sont tous des éléments granitophiles, ce qui suppose donc une granitisation.

Nous trouvons donc également ici que le résultat obtenu est conforme aux données pétrologiques.

4e partie

AGES DES CHARNOCKITES

RESUME.- Les cinq massifs charnockitiques de Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est, Tananarive, Marojejy et Ranomena, ont été l'objet d'une étude géochronologique par la méthode au strontium ajusté par isochrones sur roches totales.

De cette étude il résulte :

1º- Manakambahiny-Est : La charnockitisation a un âge de 2756 ± 537 MA. Elle est contemporaine du métamorphisme régional.

2º- Soavinandriana-Betafo : La charnockitisation a un âge de 955 ± 102 MA. Elle est postérieure au métamorphisme régional.

3º- Tananarive : Du fait que les charnockites n'y présentent qu'un seul faciès pétrographique, les valeurs obtenues à l'analyse étaient identiques et n'ont pas permis de tracer une isochrone.

4º- Marojejy et Ranomena : Du fait de l'hétérogénéité d'origine des charnockites de ces deux massifs, les valeurs obtenues étaient trop dispersées et n'ont pas permis de tracer une isochrone.

o

o o

I.- INTRODUCTION.- Au cours de nos études pétrologiques nous avons rattaché les principales formations charnockitiques de Madagascar à 3 groupes résultant de leur mode de formation :

a) Le premier groupe (Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est, Tananarive, Marojejy) dérive de roches gabbroïques ou de roches gabbroïdiques noritiques par métamorphisme et granitisation dans la zone du faciès amphibolite.

b) Le second groupe (Ranomena et les Chaînes Anosyennes) dérive par métamorphisme et anatexie de roches paragneissiques calco-magnésiennes et orthogneissiques gabbroïques dans la zone du faciès hornblende-granulite.

c) Enfin le troisième groupe prend naissance par métamorphisme dans la zone du faciès pyroxène-granulite.

D'une façon générale, on peut donc dire que dans les zones profondes (faciès granulite), la charnockitisation s'est effectuée au cours du métamorphisme régional. Dans la zone moins profonde (faciès amphibolite), elle ne peut s'expliquer que par un métamorphisme et une granitisation peut-être contemporaine ou postérieure au métamorphisme.

Il s'avérait donc intéressant de situer les différentes charnockitisations éventuelles dans l'histoire géologique de la Grande Ile, c'est-à-dire de mesurer les âges des charnockites des divers massifs étudiés précédemment. Pour cela, nous avons utilisé la méthode radiométrique.

II.- HISTORIQUE.- Depuis quelques années, grâce à la géochronologie, des repères ont pu être établis dans le Précambrien malgache. Les différentes mesures effectuées se rapportent à diverses méthodes et ont été l'oeuvre de quelques auteurs dont A.HOLMES,

A.L.AHRENS, L.T.ALDRICH, A.J.BURGER, G.EBERHARDT, W.C.ERICKSON, J.HOFFMANN, F.G.HOUTERMANS, L.NICOLAYSEN, A.O.C.NIER, M.ROQUES, C.ROUGER, C.PAVGAUD, P.SIGNER, J.T.WILSON, R.T.JAMESON, G.D.L. SCHREINER, M.ROUBAULT, G.L.DURAND, L.DELBOS, G.KAPLAN.

La géochronologie malgache dispose actuellement d'une centaine de mesures. De cet ensemble, deux seulement se rapportent à des charnockites. L'une a été effectuée par la méthode plomb-alpha (M.ROQUES) sur zircon de charnockite en enclave dans granite stratoïde (Institut Pasteur, Tananarive) et a donné un âge de 820 MA. L'autre a été effectuée par la méthode des isotopes du Plomb (J.T.WILSON) sur monazite des charnockites des chaînes anosyennes (Col du Manangotry, au Nord de Fort-Dauphin) et a donné un âge de 1140 ± 350 MA.

Au cours de mes études générales sur les charnockites de Madagascar, j'avais prélevé quelques échantillons pour mesure d'âge sur les massifs de Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est, Tananarive, Marojejy et Ranomena. Ces échantillons ont été analysés en 1968 et 1969, au Laboratoire associé de géochronologie CNRS et de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand par Madame M.VACHETTE.

III.- METHODE UTILISEE.- L.DELBOS[1] a montré par des mesures au strontium conventionnel sur biotite que toutes les formations du socle de Madagascar ont été reprises dans l'orogenèse mozambiquienne à 500 MA. Pour remonter à l'âge réel des forma-

---

(1) L.DELBOS, 1964.- Signification et importance du cycle récent de 500 MA dans le Précambrien malgache. Ann.Fac.Sc. Clermont-Ferrand, n°25, géol.minér. fasc.8 pp.39-52.

tions charnockitiques, il a paru intéressant de reprendre l'étude géochronologique des charnockites par la méthode au strontium ajusté par isochrones sur roches totales.

Sauf pour Tananarive où il n'a été possible de disposer que d'un seul type pétrographique (charnockite granodioritique), les mesures ont porté sur cinq échantillons de différents faciès pétrographiques, prélevés en différents endroits du massif.

Les caractéristiques des isochrones ont été calculées sur ordinateur selon la méthode Mc INTYRE et coll.(1).

Nous donnons à la suite :

1º) Les planches de répartition des échantillons prélevés pour analyse (Pl. nº76 à nº80, p.265 à p.269).

2º) Un tableau indiquant la nature et la provenance des échantillons (p.270).

3º) Le tableau des résultats analytiques (p.275).

IV.- RESULTATS OBTENUS(2).- Des mesures effectuées, deux âges de charnockitisation ont pu être dégagés, l'un à 2700 MA, l'autre à 1000 MA.

1º- Manakambahiny-Est.- D'après les études pétrologiques, la charnockitisation de ce massif devrait être contemporaine ou

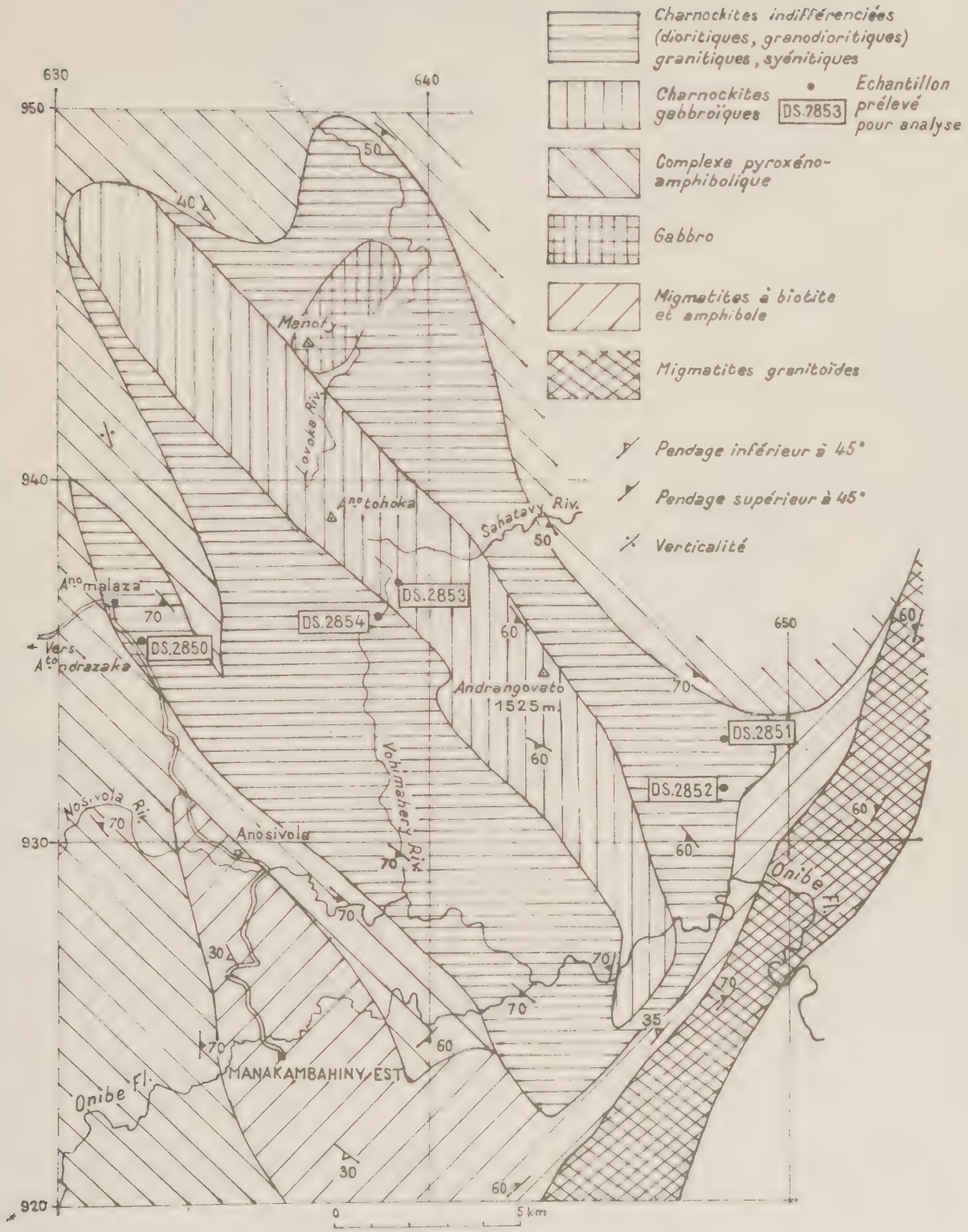
---

(1) G.A. Mc INTYRE, C.BROOKS, W.COMPSTON et A.TUREK, 1966.- Journ. Geophys.Research; U.S.A., 71, nº22, pp.5459-5498.

(2) Mme M.VACHETTE, A.RAZAFINIPARANY et M.ROQUES, 1969.- Ages au strontium de 2700 millions d'années et de 1000 millions d'années, pour deux massifs charnockitiques de Madagascar. C.R. A.Sc. Paris (à paraître).

REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR MESURE D'AGE

76

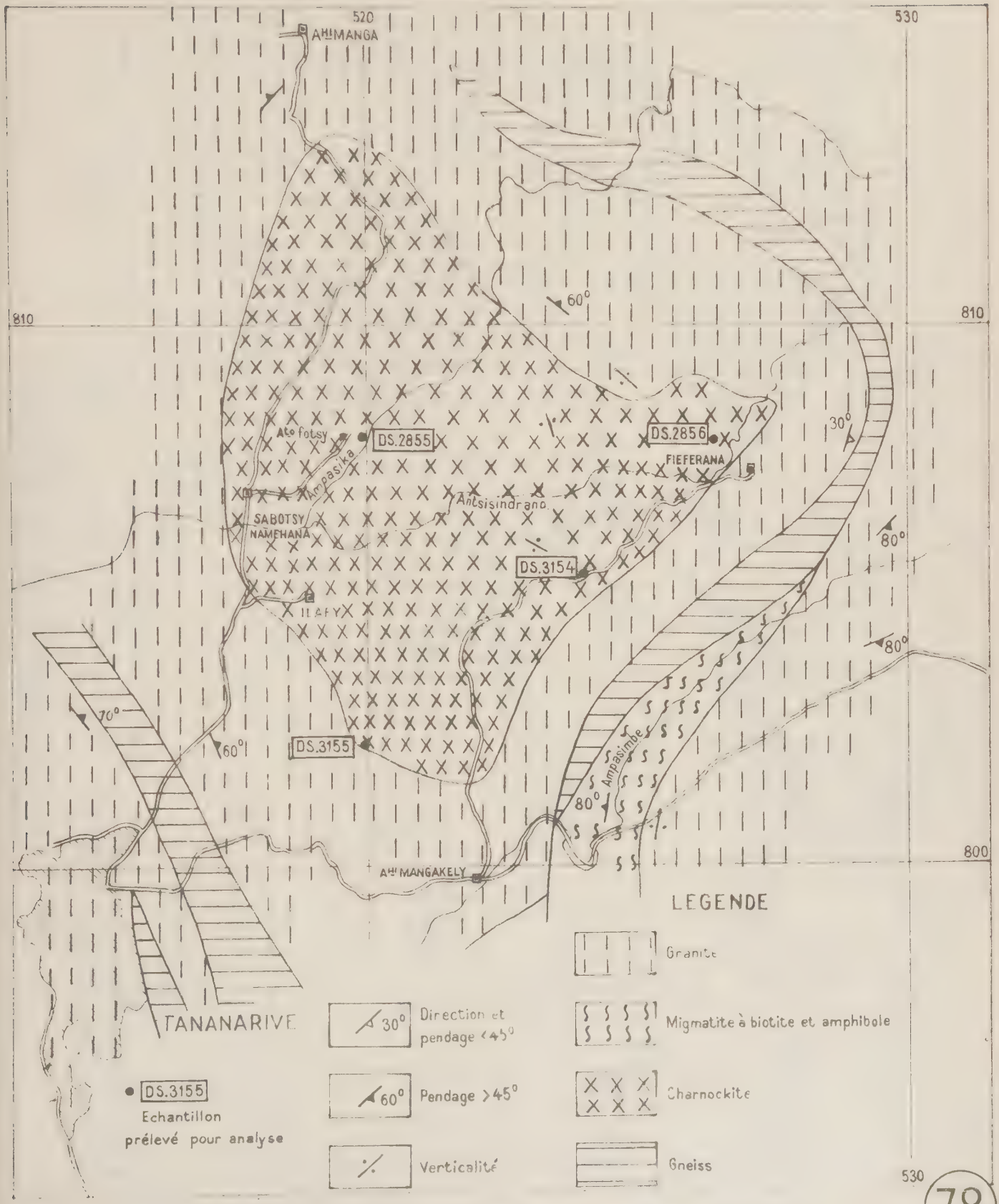


CHARNOCKITES MANAKAMBAHINY-EST

REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR MESURE D'AGE

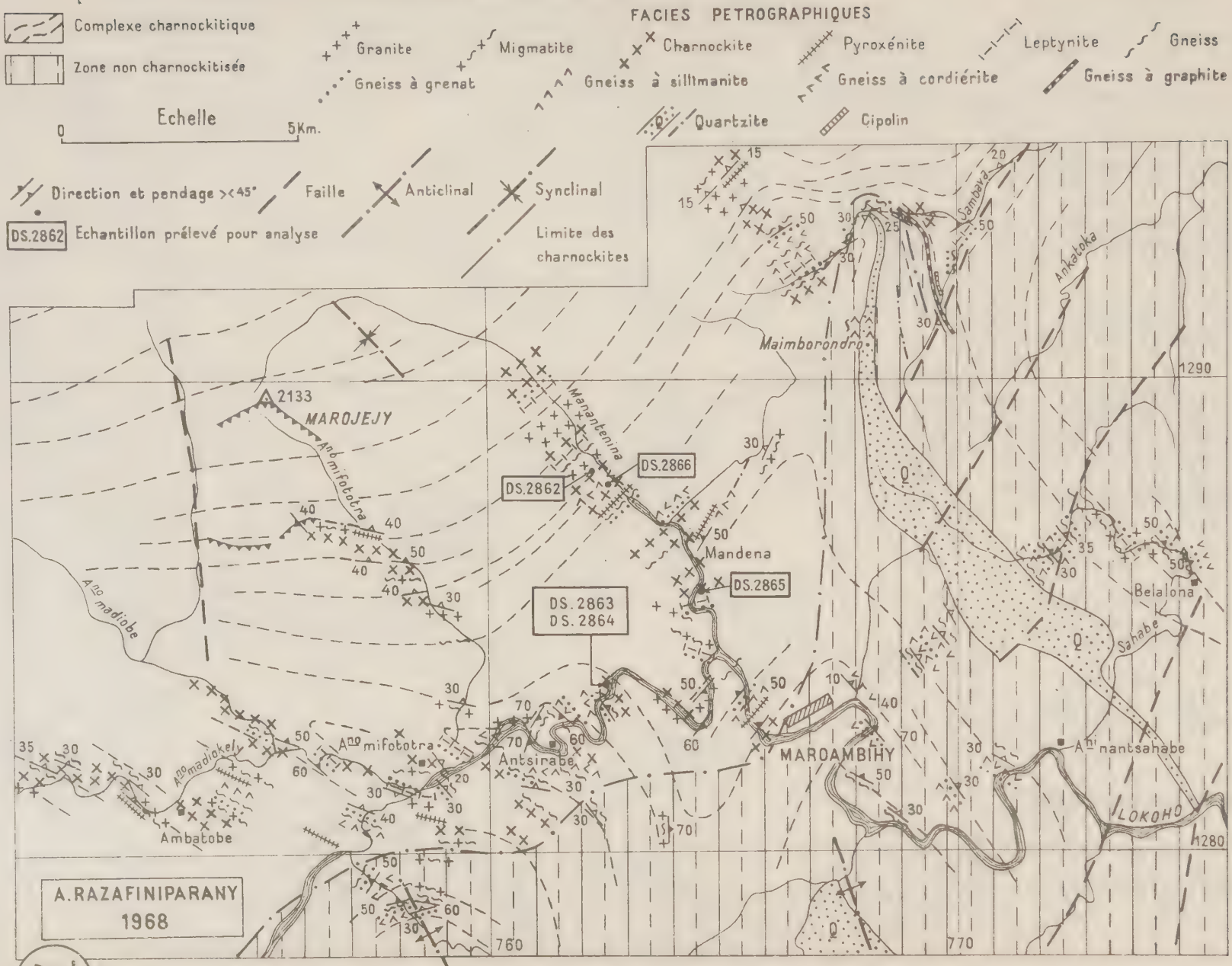
77

LES CHARNOCKITES DE TANANARIVE



REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR MESURE D'AGE

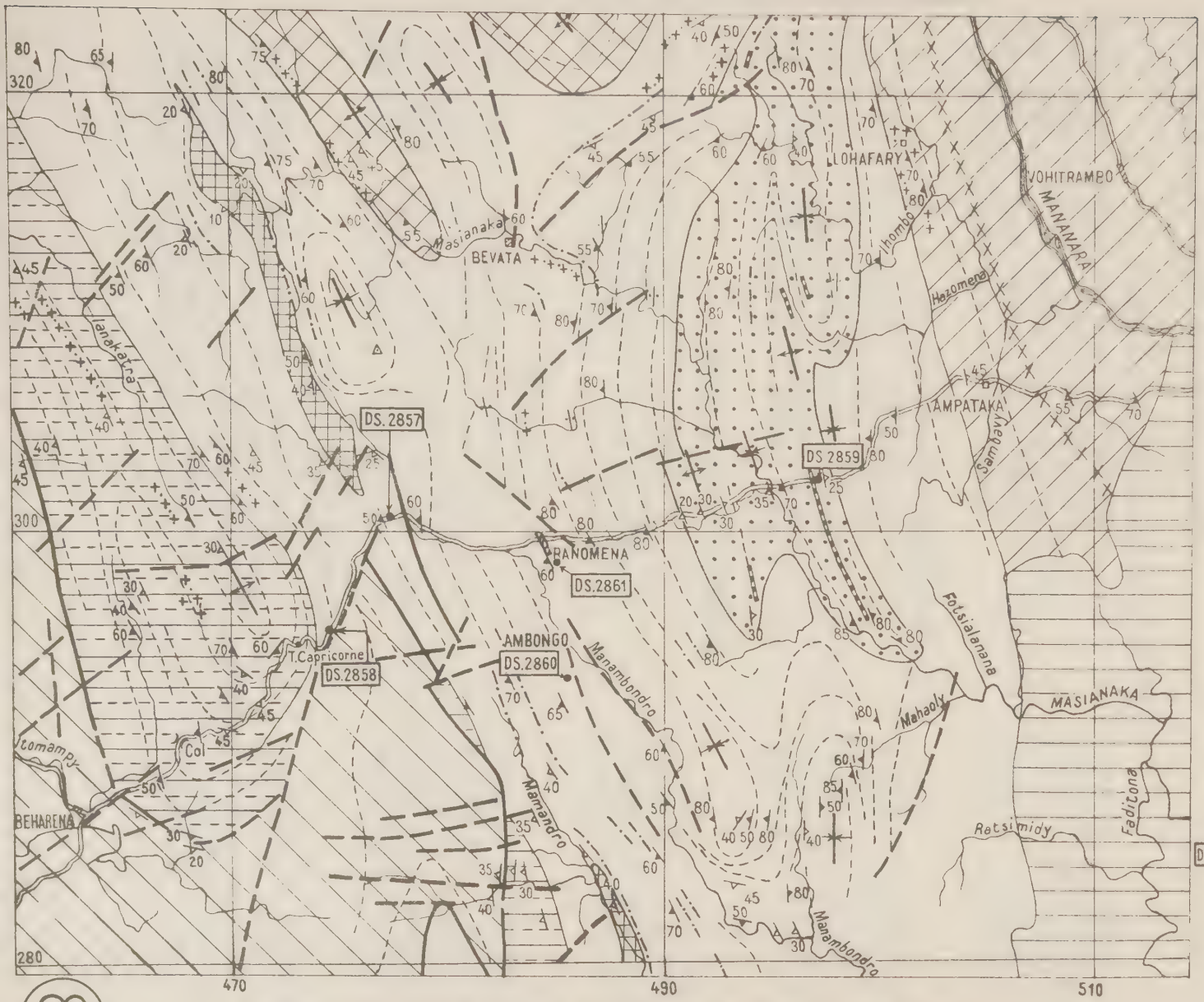
LES CHARNOCKITES DE MAROJEJY



79

REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR MESURE D'AGE

LES CHARNOCKITES DE LA REGION DE RANOMENA



LEGENDE

- Coulées basaltiques
- Migmatites avec bancs de charnockite
- Syénite à pyroxène
- Complexe de Ranomena { Charnockite-Pyroxénite gneiss quartzite
- Migmatites (Série de Tolongoina)
- Couches à graphite et charnockite
- Leptynite et gneiss à sillimanite et grenat. Gneiss à pyroxène et warnérite
- Charnocki. Pyroxénite Gneiss à pyroxène et sphène

FACIES PETROGRAPHIQUES SPECIAUX

- + Granite
- X Charnockite
- Quartzite
- Banc de graphite
- Pendage >< 45°
- Verticalité
- Synclinal
- Anticlinal
- Faille
- DS.2860 Echantillon prélevé pour analyse

0 5 10Km

A. RAZAFINIPARANY
1969

REPARTITION ECHANTILLONS ANALYSES POUR MESURE D'AGE

80

NATURE ET PROVENANCE DES ECHANTILLONS

Les coordonnées sont celles du système LABORDE dont le point X=800km, Y=400km a pour coordonnées internationales lat. : 18º54'00" S - long. : 46º26'14" E. Tous les résultats concernent des roches totales. Les nº DS renvoient au tableau des résultats analytiques (p.275).

Massif de Soavinandriana-Betafo

DS 2845 - Charnockite gabbroïque ..... X=768,0 - Y=409,6
DS 2846 - Charnockite dioritique ..... X=743,0 - Y=410,0
DS 2847 - Charnockite granodioritique ..... X=727,6 - Y=406,8
DS 2848 - Charnockite syénitique quartzifère X=757,2 - Y=413,9
DS 2849 - Charnockite syénitique ..... X=748,7 - Y=410,8

Massif de Manakambahiny-Est

DS 2850 - Charnockite syénitique ..... X=935,7 - Y=632,3
DS 2851 - Charnockite granitique ..... X=932,3 - Y=648,5
DS 2852 - Charnockite dioritique ..... X=931,1 - Y=648,2
DS 2853 - Charnockite gabbroïque ..... X=936,9 - Y=639,2
DS 2854 - Charnockite gabbroïque à grenat .. X=936,2 - Y=638,6

Massif de Tananarive

DS 2855 - Charnockite granodioritique ..... X=807,9 - Y=519,8
DS 2856 - Charnockite granodioritique ..... X=807,7 - Y=526,6
DS 3154 - Charnockite granodioritique ..... X=805,4 - Y=524,0
DS 3155 - Charnockite granodioritique ..... X=802,2 - Y=519,9

Massif de Ranomena

DS 2857 - Charnockite gabbroïque ..... X=300,6 - Y=477,2
DS 2858 - Charnockite anorthosique ..... X=295,3 - Y=474,6
DS 2859 - Charnockite granitique ..... X=302,4 - Y=497,3
DS 2860 - Charnockite syénitique quartzifère X=293,1 - Y=485,4
DS 2861 - Charnockite syénitique ..... X=298,7 - Y=484,9

Massif de Marojejy

DS 2862 - Charnockite gabbroïque ..... X=1288,1 - Y=762,1
DS 2863 - Charnockite granodioritique ..... X=1283,2 - Y=762,6
DS 2864 - Charnockite syénitique quartzifère X=1283,2 - Y=762,6
DS 2865 - Charnockite syénitique ..... X=1285,5 - Y=764,5
DS 2866 - Charnockite syénitique ..... X=1287,8 - Y=762,5

postérieure au métamorphisme régional. Ce massif fait partie du complexe pyroxéno-amphibolique de Beforona-Alaotra. Une mesure relative à une migmatite de Beforona de ce complexe a donné un âge au plomb-alpha sur zircon de 2712 MA(1).

Les mesures sur roche totale de 5 échantillons de différents faciès de ce massif, dont les natures sont indiquées à la page 270, ont donné une isochrone à 2756 MA. Les caractéristiques de cette isochrone, calculées sur ordinateur par la méthode de Mc INTYRE et coll. d'après les résultats analytiques (cf. p.275), sont les suivantes pour une valeur de la constante de désintégration $\lambda = 1,47 \times 10^{-11}$ par an (erreur type sur le strontium initial, erreur sur l'âge pour un intervalle de confiance de 95 %) :

IS.nº1 : t = 2756 ± 537 MA; 87 Sr/86 Sr_o = 0,7055 ± 0,0005; F=0,55.

La planche nº77 de la page 266 montre la répartition des échantillons prélevés dans le massif.

On peut considérer que cet âge est celui de la charnockitisation.

On constate qu' il coïncide avec celui indiqué plus haut, obtenu sur la migmatite de Beforona.

Ce résultat n'est pas en contradiction avec les données pétrologiques énoncées précédemment ; il les précise. Ici donc, la charnockitisation est contemporaine du métamorphisme régional.

Cet âge concorde avec celui de l'orogenèse majeure de 2600 MA, définie par H.BESAIRIE comme ayant affecté les formations sédimentaires des vieux systèmes Androyen, Graphite et Vohibory.

---

(1) M.ROQUES, C.ROUGER et C.PANGAUD.- Table des âges apparents déterminés en 1955, 1956, 1957 par la méthode Plomb-alpha au Laboratoire de géologie et minéralogie de la Faculté des Sciences de Clermont. "Doc.Lab.Géol. Clermont", 1955-1957.

2º- Soavinandriana-Betafo.- Ici aussi, les données pétrologiques laissaient prévoir une charnockitisation soit contemporaine, soit postérieure au métamorphisme régional.

Le massif de Soavinandriana-Betafo est localisé dans les gneiss et migmatites du Système du Graphite. Nous avons déjà indiqué précédemment (cf. ci-dessus et page 63) que l'âge du métamorphisme qui a affecté ce Système est celui de 2600 MA, correspondant à l'orogenèse majeure du Socle Précambrien de Madagascar.

Les mesures sur roche totale des 5 échantillons de différents faciès, dont les natures sont données à la page 270, ont donné une isochrone à 955 MA, calculée comme ci-dessus d'après les données analytiques (cf. p.275). Les caractéristiques de cette isochrone sont les suivantes :

IS nº2 : $t = 955 \pm 102$ MA; $^{87}Sr/^{86}Sr_0 = 0,7022 \pm 0,0004$; F=0,57.

La planche nº76 de la page 265 montre la répartition des échantillons prélevés dans le massif.

On peut, ici aussi, considérer que cet âge est celui de la charnockitisation.

Nous avons déjà indiqué à la page 102, que L.DELBOS a donné dans sa thèse trois mesures géochronologiques effectuées par la méthode plomb-alpha sur zircon provenant de trois types de granites :

- 1050 millions d'années pour le granite d'Ambatomiranty
- 1060 millions d'années pour le granite des Vavavato.

Le mode de formation de ces granites se rapprochant beaucoup de celui des charnockites de Soavinandriana-Betafo qui sont localisées dans une région voisine, nous nous sommes alors

demandé si ces phénomènes ne sont pas liés entre eux ou tout au moins contemporains.

Le résultat obtenu sur les charnockites de Soavinandriana semble pouvoir donner une réponse affirmative à cette question.

3º- Tananarive.- Les données pétrologiques indiquent ici que les charnockites sont à l'état résiduel au sein de granite plus récent. Mais leur mode de formation est comparable à celui du massif de Soavinandriana-Betafo. Comme il s'agit alors de régions voisines, on peut également se demander si les charnockitisations ne sont pas contemporaines.

Nous savons qu'une mesure par la méthode du plomb-alpha sur zircon de charnockite de l'Institut Pasteur, effectuée au laboratoire de géologie de la Faculté des Sciences de Clermont, a donné un âge de 820 MA. Cette charnockite est en enclave dans du granite, c'est-à-dire antérieure à ce granite. Il apparaît donc clairement que du fait de cette granitisation récente, il y a eu perte de Plomb, et il ne semble pas déraisonnable de rapporter l'âge réel de la charnockitisation à celui de 1000 MA trouvé pour celle de Soavinandriana-Betafo.

Les mesures par la méthode au strontium ajusté par isochrone sur roches totales n'ont pas abouti. En effet, les quatre échantillons prélevés sur le massif d'Ilafy au Nord de Tananarive, bien que de provenances distinctes (cf. Pl. nº78 page 267), sont tous de faciès granodioritique et ont donné des valeurs identiques qui ne permettent pas de tracer une isochrone.

4º- Marojejy.- Les données pétrologiques ici sont comparables à celles de Soavinandriaba-Betafo et de Manakambahiny-Est, c'est-à-dire que la charnockitisation peut être soit contemporaine, soit postérieure au métamorphisme régional.

Les cinq échantillons de charnockites de faciès différents (cf. p.270) et prélevés à des endroits différents (cf. Pl. n°79 page 268) ont donné des valeurs qui ne permettent pas de tracer une isochrone en raison de leur dispersion. On peut attribuer cette particularité à une hétérogénéité du strontium initial, due à la complexité d'origine des charnockites de ce massif. En effet, nous avons vu auparavant que les charnockites ici dériveraient du métamorphisme de contact en zone profonde de gneiss silico-alumineux par des intrusions noritiques synmétamorphes et de la granitisation de ces dernières.

5°- Ranomena.- Les données pétrologiques de ce massif indiquent que la charnockitisation est contemporaine du métamorphisme régional.

Les cinq échantillons de charnockites ont donné des résultats présentant les mêmes particularités que ceux du massif de Marojejy. Les charnockites de Ranomena ont une origine aussi complexe que celles de Marojejy. En effet, elles dériveraient de roches paragneissiques calco-magnésiennes et orthogneissiques gabbroïques, par métamorphisme et anatexie.

RESULTATS ANALYTIQUES

Extraction Rb, Sr par Mlle M.SAURET (Clermont-Ferrand) Rb et Sr tot. en 10^{-6} g/g, par dilution isotopique. Rapport 87 Sr/86 Sr normalisé pour 86 Sr/88 Sr = 0,1194. Spectrographie de masse par MV. Erreur type calculée sur chaque enregistrement.

DS	Rb	Sr	87 Sr/86 Sr	87 Rb/86 Sr	DS	Rb	Sr	87 Sr/86 Sr	87 Rb/86 Sr
2845*	39,3	851	0,7036±0,0009	0,133±0,004	2857*	5,2	148	0,7150±0,0014	0,090±0,004
2846*	46,6	387	0,7066±0,0008	0,348±0,010	2858	2,5	683	0,7093±0,0008	0,010±0,000
2847*	6,5	212	0,7039±0,0011	0,088±0,002	2859*	86,9	330	0,7202±0,0013	0,755±0,024
2848*	81,7	634	0,7125±0,0008	0,380±0,012	2860*	132,1	614	0,7229±0,0014	0,620±0,020
2849*	71,7	146	0,7224±0,0008	1,420±0,044	2861*	149,5	426	0,7295±0,0012	1,016±0,034
2850*	107,7	754	0,7223±0,0009	0,410±0,012	2862*	2,5	202	0,7288±0,0007	0,036±0,002
2851*	16,3	833	0,7073±0,0008	0,056±0,001	2863*	74,0	360	0,7293±0,0006	0,590±0,019
2852*	7,3	567	0,7089±0,0006	0,037±0,002	2864*	70,9	360	0,7290±0,0007	0,570±0,017
2853*	0,3	264	0,7023±0,0013	0,003±0,000	2865*	93,5	387	0,7160±0,0008	0,695±0,022
2854*	8,8	354	0,7089±0,0007	0,070±0,002	2866	85,5	425	0,7157±0,0009	0,580±0,018
2855	81,3	528	0,7138±0,0012	0,440±0,014	3154	95,4	353	0,7148±0,0007	0,780±0,025
2856	68,6	452	0,7135±0,0005	0,430±0,014	3155	58,4	470	0,7238±0,0009	0,360±0,012

* Moyenne de 2 mesures. Pour le calcul des isochrones, on a utilisé les résultats de chaque mesure.

CONCLUSION GENERALE

Avant de terminer cette étude générale sur les charnockites de Madagascar, il serait utile de reprendre les principales données acquises :

I.- DEFINITION : CHARNOCKITE ET SERIE CHARNOCKITIQUE.- Il est admis par les différents auteurs que ce qui caractérise les charnockites, c'est la présence de l'hypersthène. La question se pose alors si l'on peut considérer toutes les roches à hypersthène comme charnockites.

HOLLAND lui-même, lorsqu'il avait créé le terme de "charnockite", l'avait appliqué à un type de granite à hypersthène de la péninsule indienne. Puis il a employé le terme de série charnockitique pour définir un ensemble de roches à hypersthène reliées génétiquement entre elles et à composition minéralogique variable allant de types basiques (pyroxénites, norites) à des types acides (charnockites s.s.) en passant par des types intermédiaires (diorites, syénites).

Au cours de nos études précédentes, pour ne pas nous écarter de l'ordre d'idée principale du créateur du terme, nous avons appelé charnockite :

1º) Soit une roche à hypersthène de composition granodioritique et caractérisée par la paragenèse quartz + orthoclase + oligoclase-andésine + hypersthène ± hornblende ± biotite ± grenat.

2º) Soit une roche à hypersthène appartenant à une série de roches à hypersthène liées génétiquement entre elles et comportant des termes basiques, intermédiaires et acides. Suivant la composition minéralogique et chimique, nous avons appelé ces différents termes : charnockites gabbroïques, dioritiques, granodioritiques, granitiques et syénitiques.

De ce fait donc, une norite d'un massif noritique ne peut pas être appelée charnockite gabbroïque.

II.- GISEMENTS.- Quatre types de gisements ont pu être définis :

1º- Les Massifs charnockitiques circonscrits liés à des gabbros.- Ils ont des dimensions importantes dépassant 500 km^2. Ce sont les cas de Soavinandriana-Betafo et de Manakambahiny-Est.

2º- Les charnockites résiduelles qui se présentent soit en enclaves dans des formations granitiques, soit en bancs résiduels apparemment stratoïdes au sein également de formations granito-migmatitiques plus récentes. Ces enclaves sont de dimensions variables allant du mètre carré à la centaine de kilomètres carrés (charnockite d'Ilafy au Nord de Tananarive). Les bancs "stratoïdes" sont de faible puissance, ne dépassant guère l'ordre d'une dizaine de mètres.

Ce sont les cas des charnockites de la région de Tananarive.

3º- Les complexes charnockitiques régionaux.- Ce sont les charnockites qui font partie d'une série régionale. Leur extension est immense et dépasse généralement le millier de kilomètres carrés. Ce sont les cas de Marojejy, Ranomena et des chaînes anosyennes.

4º- Les charnockites des zones de métamorphisme intense qui se présentent en bancs généralement de faible puissance ne dépassant guère la dizaine de mètres. C'est le cas des charnockites du Système androyen dont le type caractéristique est celui de Mafilefy.

III.- CARACTERES GEOCHIMIQUES.- Chaque terme de la série charnockitique présente des caractères géochimiques comparables à ceux du groupe équivalent des roches cristallines plutoniques. Il y a lieu, cependant, de signaler une teneur plus élevée que celle des roches plutoniques équivalentes, en fer ferreux dans les charnockites acides et en Ba dans les charnockites basiques.

IV.- ORIGINE.- Trois types de charnockites ont pu être distingués :

1º- Les charnockites métasomatiques qui ont pris naissance dans la zone du faciès amphibolite par métamorphisme et granitisation suivie d'une métasomatose alcaline, de grands massifs de gabbros intrusifs (Soavinandriana-Betafo, Manakambahiny-Est et Tananarive) ou de roches gabbroïdiques noritiques en lames ou en sills qui se sont mises en place au cours du métamorphisme au sein d'une série paraectinitique (Marojejy).

Les intrusions gabbroïdiques, très chaudes, synmétamorphes (Marojejy), ont pu provoquer dans les formations silico-alumineuses encaissantes, un métamorphisme de contact de profondeur du faciès orthopyroxène-hornblende, aboutissant à des charnockites métasomatiques avec ou sans cordiérite.

2º- Les charnockites migmatitiques qui ont pris naissance dans la zone du faciès hornblende-granulite, à partir de roches gabbroïdiques ou de roches marneuses ou des deux, par métamorphisme et anatexie (Ranomena, Chaînes anosyennes).

3º- Les charnockites granulitiques qui ont pris naissance dans la zone du faciès pyroxène-granulite par déshydratations successives des gneiss et dont le terme ultime est donné par la réaction:
biotite + quartz = orthose + hypersthène + grenat + eau
et par la disparition complète de la hornblende à la suite de sa transformation en hypersthène (Mafilefy).

V.- AGES DES CHARNOCKITES.- La charnockitisation a pu se produire à différentes époques de l'histoire géologique de la Grande Ile.

A la suite de mesures géochronologiques isochrones qui ont été effectuées sur les différents massifs charnockitiques précédents, par la méthode au rubidium-strontium sur roche totale, deux âges ont pu être dégagés :

1º- Un âge à 2700 millions d'années.- Cet âge a été donné par des mesures effectuées sur le massif charnockitique de Manakambahiny-Est (le résultat trouvé lors de ces mesures est 2756 millions d'années).

Cette donnée situe nettement les charnockites de Manakambahiny-Est dans le complexe amphibolo-pyroxénique de Beforona où une migmatite a donné un âge de 2712 MA (méthode plomb-alpha sur zircon), et rapporte donc l'âge de la charnockitisation à l'orogenèse majeure de 2600 MA dont l'existence a été bien définie à Madagascar.

2º- Un âge de 1000 millions d'années.- Celui-ci a été donné par des mesures effectuées sur le massif charnockitique de Soavinandriana-Betafo (le résultat trouvé est 955 millions d'années). On peut le considérer comme étant l'âge de la charnockitisation.

Cet âge de 1000 MA coïncide avec ceux obtenus par L. DELBOS, au plomb-alpha sur zircon du granite ambatomiranty d'Ambatoroka près de Tananarive (1050 MA) et du granite des Vavavato au NE de Betafo (1060 MA). Ces deux types de granites sont liés à des gabbros et leur mode de formation est comparable à celui des charnockites de Soavinandriana-Betafo. Ces différents massifs sont localisés dans des régions très voisines. Il y a donc lieu de penser qu'ils résultent de manifestations d'un même phénomène géologique ou de phénomènes géologiques contemporains.

Pour les massifs de Ranomena et de Marojejy, l'hétérogénéité d'origine des charnockites n'a pas permis d'obtenir des résultats à partir des mesures isochrones par la méthode au rubidium-strontium sur roche totale. Les échantillons qui ont servi à ces mesures ont été prélevés à différents endroits du massif. Il est fort possible que des échantillons charnockitiques de compositions chimiques différentes, mais pris au même affleurement ou dans la même carrière, seraient de même origine et donneraient probablement un résultat.

o

o o

BIBLIOGRAPHIE

AICARD, P., 1957.- Les terrains précambriens du Togo et leur extension vers le Nord-Est (Dahomey). Grande imprimerie africaine. Dakar.

AUROUZE, J., 1952.- Etude géologique des feuilles Vavatenina-Fénérive. Trav.Bur.Géol.N°30. Service Géologique - Tananarive.

BARON, R., 1895.- Geological notes on a journey in Madagascar. Quart. S.Geol.Soc. London, 51.

BARTH, T.F.W., 1951.- Theoritical petrology. John WILEY and Sons Inc. New York.

BARTH, T.F.W. ; CORRENS, C.W. et ESKOLA, P., 1939.- Die Entstehung der Gesteine. Springer Berlin.

BESAIRIE, H., 1930.- Recherches géologiques à Madagascar. Contribution à l'étude des ressources minérales. Toulouse - Imprimerie Basuyau et Cie.

BESAIRIE, H., 1948.- Recherches géologiques à Madagascar. (2e suite). L'extrême Sud et le Sud-Sud-Est. 2e volume. Bureau Géologique - Tananarive.

BESAIRIE, H., 1949.- Documentation sur l'or à Madagascar. Doc. Bur. Géol.N°6. Service Géologique - Tananarive.

BESAIRIE, H., 1963.- La géochronologie à Madagascar en 1962. Ann.Géol.Mad.Fasc.XXXIII, Tananarive.

BESAIRIE, H., 1968.- Description géologique du massif ancien de Madagascar. Doc.Bur.Géol.Nº177. Service Géologique - Tananarive.

BESAIRIE, H. et COLLIGNON, M., 1960.- Lexique stratigraphique international. Vol.IV.Fasc.11. Madagascar. CNRS. Paris.

BIROT, P., 1963.- Contribution à l'étude morphologique des "plateaux" du Centre de Madagascar. Revue de Géographie. Madagascar. Nº3. Juillet-Décembre 1963.

BRENON, P., 1949.- Etude géologique de la feuille Lac Alaotra. Trav.Bur.Géol.Nº8. Service Géologique - Tananarive.

BRENON, P., 1950.- Documentation pour les feuilles Andravory et Sambava. Arch.A.322. Service Géologique - Tananarive.

BRENON, P., 1952.- Contribution à l'étude pétrographique et géologique des terrains cristallins de Madagascar dans les régions de l'Antsihanaka, de l'Antanosimboahangy (Hauts Plateaux) et dans les bassins de la Bemarivo et de la Fanambana (côte Nord-Est). Thèse Nancy.

BRENON, P., 1953.- Le gisement de Mafilefy (Monographie provisoire). Arch.A.674. Service Géologique - Tananarive.

BRENON, P., 1954.- Les charnockites de Madagascar. Pan.Ind.Oc. Sc.Congr., Août 1954, Perth.

BRENON, P. et DELBOS, L., 1958.- Les charnockites à grenat à Madagascar. Notes de géologie Malgache. Doc. Bur.Géol.Nº140. Service Géologique - Tananarive.

DAVID, R. ; DUCLOS, P. ; GIRET, R. ; ORLOFF, O., 1947-48.- Etudes géologiques dans les feuilles Antsirabe, Mandoto, Soavinandriana, Ramartina, Miandrivazo.- Travaux des géologues de la Mission Malgache du C.E.A. 1947 et 1948. Doc.Bur. Géol.Nº9.

DELBOS, L., 1957.- Les granites des Ambatomiranty, des Vavavato et de Behenjy. Thèse Clermont.

DELBOS, L., 1959.- Note sur les charnockites de Madagascar. Rapport annuel du Service Géologique pour 1959 - Tananarive.

DELBOS, L., 1964.- Signification et importance du cycle récent de 500 MA dans le Précambrien malgache. Ann. Fac.Sc. Clermont-Ferrand, nº25, géol. min.fasc.8, pp.39-52.

DELUBAC, G. ; RAKOTOARISON, W. ; RANTOANINA, M., 1963.- Etude géologique et prospection des feuilles Tananarive-Manjakandriana au 1/100.000. Trav.Bur. Géol.Nº114. Service Géologique - Tananarive.

DERRUAU, M., 1962.- Précis de Géomorphologie - Masson éditeur. Paris.

DUDAN, R. ; BOULANGER, J. ; BERTUCAT, M. ; CLAIR, G., 1962.- Mission Côte-Est Ambatondrazaka-Andilamena. Rapport de fin de prospection. BRGM. Madagascar.

ESKOLA, P., 1933.- On the differential anatexis of rocks. Comm. Geol. Finlande. Bull.Nº103.

ESKOLA, P., 1954.- A proposal for the presentation of rocks analyses in ionic percentage. Ann.Ac.Sc. Fennicae. Ser A.III, Geol.Geogr.Nº38.

GOLDSCHMIDT, J.R. et LAVES, F., 1954.- K-Feldspars structurally intermediate between microcline and sanidine. Geo.Cosmo.Aeta.6, 110-13.

GUIGUES, J., 1951.- Etude géologique des feuilles Ramartina-Mandoto. Trav.Bur.Géol.Nº19. Service Géologique - Tananarive.

GUIGUES, J., 1952.- Les terrains cristallins de la partie centrale de Madagascar. Thèse Nancy.

GUITARD, G. ; RAGUIN, E. et SABATIER G., 1960.- La symétrie des feldspaths potassiques dans les gneiss et les granites des Pyrénées orientales. Bull. Soc.Franc.Min.Crist.83, pp.48-56.

HOLLAND, T., 1893.- The petrology of Job charnock's tombstone J.As.Soc. Bengal. 62, Pt.2.

HOLLAND, T., 1900.- Charnockite Series, a group of archean hypersthenic rocks in Peninsular India. Mem.Geol.S.I. 28, pt.2, 119-249.

HOTTIN, G., 1959.- Etude géologique au 1/100.000 et prospection de la feuille Mahasolo (L.47). Rapport annuel du Service Géologique de Madagascar.

HOTTIN, G., 1967.- Etude géologique et prospection des feuilles Vohimenakely, Vavatenina et Fénérive. Trav. Bur.Géol.N°126 - Service Géologique - Tananarive.

HOTTIN, G., 1969.- Les terrains cristallins du Centre-Nord et du Nord-Est de Madagascar. Pétrographie - Structure - Stratigraphie. Thèse Clermont-Ferrand.

JUNG, J. et ROQUES, M., 1952.- Introduction à l'étude zonéographique des formations cristallophylliennes. Bull.Soc.Géol.Fr.N°235, t.L.

LACROIX, A., 1922.- Minéralogie de Madagascar, Tomes I, II, III, Challamel. Paris.

LACROIX, A., 1941.- Les gisements de phlogopite de Madagascar et les pyroxénites qui les renferment. Ann.Géol. Serv.Mines. Fasc.XI - Tananarive.

LACROIX, A., 1956.- Notes posthumes. Trav.Bur.Géol.N°78 - Tananarive.

LAPADU-HARGUES, P., 1945.- Sur l'existence et la nature de l'apport chimique dans certaines séries cristallophylliennes. Bull.Soc.Géol.Fr. 5e série. t.15, pp.256-310.

LAPLAINE, L., 1951.- Etude geologique des feuilles Tsiroanomandidy-Soavinandriana. Trav.Bur.Géol.N°20. Service Géologique - Tananarive.

LAPLAINE, L., 1952.- Etude géologique des feuilles Miarinarivo et Tananarive. Trav.Bur.Géol.N°32. Service Géologique - Tananarive.

LAPLAINE, L., 1953.- Etude géologique du massif cristallin Malgache à la latitude de Tananarive. Thèse Nancy.

LAPLAINE, L., 1954.- Etude géologique de la feuille Andapa. Trav. Bur.Géol.Nº66. Service Géologique - Tananarive.

LAUTEL, R., 1951.- Etude géologique des feuilles Ambatondrazaka (450), Ambodilazana (451), Tamatave (452). Campagne 1950. Trav.Bur.Géol.Nº97. Service Géologique - Tananarive.

LAUTEL, R., 1953.- Etude géologique du socle cristallin da Madagascar à la latitude de Tamatave. Thèse Clermont-Ferrand.

LENOBLE, A., 1933.- La série schisto-quartzo-calcaire dans le Nord-Est de Madagascar. C.R.Ac.Sc. Paris 22 Mai. t.196, pp.1624-1626.

LENOBLE, A., 1937.- Esquisse structurale de la région de Maroantsetra-Antalaha-Andapa. Ann.Géol.Serv.Mines, fasc.VIII - Tananarive.

MAJMUNDAR, H., 1961.- Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pyroxènes et des micas dans les pyroxénites à phlogopite et dans les charnockites du Sud-Est de Madagascar. Thèse Nancy.

MARCHAL, J., 1957.- Etude géologique de la feuille Midongy du Sud - Vangaindrano. Trav.Bur.Géol.Nº81. Service Géologique - Tananarive.

MARCHAL, J., 1958.- Etude géologique des feuilles Vondrozo-Iara. Trav.Bur.Géol.Nº85. Service Géologique - Tananarive.

MEHNERT, K.R., 1968.- Migmatites and the origin of granitic rocks. Elsevier Publishing Company. Amsterdam.

MICHOT, P., 1957.- Phénomènes géologiques dans la catazone profonde. Geologische Rundschau, Band 46, Heft.1 pp.147-173.

NOIZET, G., 1954.- Etude géologique des schistes cristallins des feuilles Manombo, Ranomainty, Tranomaro, Marohotro. Trav.Bur.Géol.Nº57. Service Géologique - Tananarive.

NOIZET, G., 1969.- Contribution à l'étude géochimique des formations métamorphiques du faciès granulite dans le Sud de Madagascar. Thèse Nancy.

OBELLIANE, J.M., 1950.- Rapport général sur la mission de Miandrarivo. Juillet 1950. C.E.A. Rapport Nº65. Archive Service des Mines Madagascar.

ORLIAC, J., 1957.- Etude sur la pigmentation des malgachites. Doc.Bur.Géol.Mad.Nº133. Service Géologique - Tananarive.

ORLOFF, O., 1947.- Carte au 1/50.000 Mahasolo. Travaux C.E.A. 1947.

PARRAS, K., 1958.- On the Charnockites in the light of a highly metamorphic rock complex in southern Finland. Bull.Comm.Geol.Finlande Nº181. Helsinki 1958.

PETERLONGO, J.M., 1960.- Les terrains cristallins des Monts du Lyonnais (Massif central français). Ann.Fac. Sc. de l'Université de Clermont-Ferrand. Nº4 Géologie et Minéralogie 4e fasc.

PICHAMUTU, C.S., 1953.- The Charnockite Problem. Mysore Geol.As. Bangalore. India.

RAMBERG, H., 1952.- The origin of metamorphic rocks. University of Chicago Press. 1 vol. 317 p.

RAZAFINIPARANY, A., 1963.- Les charnockites de Betafo-Soavinandriana à Madagascar. C.R.Sem.Géol.Mad. Ann. Géol.Mad. fasc.XXXIII. Tananarive.

RAZAFINIPARANY, A., 1964.- Les charnockites de Manakambahiny-Est (Madagascar). C.R.Sem.Géol.Mad.1964. Comité National Malgache de Géologie - Tananarive.

RAZAFINIPARANY, A., 1964.- Les charnockites de la région de Tananarive. Bull.Ac.Malg. Tome XLII-2.

RAZAFINIPARANY, A., 1966.- Sur la présence de charnockites à cordiérite dans le Massif de Marojejy (Nord-Est de Madagascar). C.R.Sem.Géol.1966. Comité National Malgache de Géologie - Tananarive.

RAZAFINIPARANY, A., 1969.- Sur les caractères radiocristallographiques des feldspaths potassiques des charnockites de quelques massifs de Madagascar et de leurs enveloppes. C.R.Sem.Géol.Mad. 1969. Comité National Malgache de Géologie - Tananarive (sous presse).

RAZAFINIPARANY, A., 1969.- Constitution et origine des principaux types de charnockites à Madagascar. C.R.Ac.S. Paris. (à paraître).

ROCHE (de la), H., 1958.- Etude géologique de l'extrême Sud-Est de Madagascar (Zone d'intensité de métamorphisme élevée). Thèse Nancy.

ROQUES, M., 1941.- Les schistes cristallins de la partie Sud-Ouest du Massif central français. Mémoire du Serv. Carte Géol.Fr. 1 vol. 530 p.

SABATIER, G., 1963.- A propos de la mesure du pourcentage de triclinisme des feldspaths potassiques. Bull. Soc.fr.Min. et Crist. 36, 64-68.

SAVORNIN, A., 1937.- Les gisements de mica phlogopite du Sud de Madagascar. Ann.Géol.Serv.Mines fasc.VII. Tananarive.

TOURET, J., 1969.- Le socle précambrien de la Norvège méridionale. Thèse Nancy.

TURNER, F.J. and VERHOOGEN, J., 1960.- Igneous and metamorphic petrology. Mac GRAW HILL London 2e édition.

TUTTLE, O.F. and BOWEN, N.L., 1958.- Origin of granite in the light of experimental studies in the System $NaAlSi_3O_8$-$KAlSi_3O_8$-SiO_2-H_2O. Geol.Soc.Am. Memoir 74.

VACHETTE, M. (Mme); RAZAFINIPARANY, A. et ROQUES, M., 1969.- Ages au strontium de 2700 millions d'années et de 1000 millions d'années, pour deux massifs charnockitiques de Madagascar. C.R.Ac.Sc. Paris (à paraître).

WAARD (de), D., 1965.- A proposed subdivision of the granulite facies. Am.Journ.Sc.Vol.263. pp.455-461.

WINKLER, F., 1965.- La genèse des roches métamorphiques. Traduction de J.P.Von ELLER et M.WOLF. Editions Ophrys. GAP.

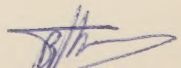
Série : E

N° : 113

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

(Décret n° 67-750 du 29 Août 1967)

Clermont-Ferrand, le 14 Octobre 1969.

Le Doyen,

J. SAUREL